



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O CONTRIBUTO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA A SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

Débora Suéli Moreira Vaz Pinto

Orientador: Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues (Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro)

Coorientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Arguente: Doutora Susana Patrícia Bastos de Sousa (Investigadora do INEGI)

Presidente do Júri: Professora Doutora Maria Luísa Pontes da Silva Ferreira de Matos (Professora Auxiliar Convidada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

2017



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã, agradeço o apoio e amor incondicional. Sem vocês nada seria possível!

Ao Daniel, agradeço as palavras de carinho, o amor e o apoio que me dá todos os dias.

À Professora Fernanda Rodrigues, minha orientadora, agradeço a disponibilidade para esclarecimentos e ensinamentos e toda a gentileza demonstrada ao longo de todo este processo.

Ao Professor João Baptista agradeço o impulso dado na cadeira de projeto de dissertação para o arranque e desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus novos amigos do MESHO, agradeço a companhia, as petiscadas e as partilhas de experiências.

RESUMO

A indústria da construção é um dos setores com maior incidência de acidentes, sendo imperioso que este setor implemente metodologias que contribuam para a melhoria de segurança e saúde na fase de construção. Visto que as soluções tradicionais não se têm mostrado eficazes, pretende-se verificar se a utilização de novas tecnologias contribui para aumentar o nível de segurança nos estaleiros de construção. Neste âmbito, o Building Information Modeling (BIM) tem sido apontado como uma ferramenta que pode contribuir para a implementação da segurança ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto de construção, fazendo todo o sentido a investigação e o conhecimento das tecnologias envolvidas que podem contribuir eficazmente para a diminuição dos riscos e consequentemente para o aumento da segurança.

O principal objetivo desta dissertação consiste em demonstrar a potencialidade da metodologia BIM na implementação de medidas de segurança na fase de planeamento e de gestão de uma obra de construção. Visa assim, averiguar se esta metodologia contribui para um trabalho mais eficaz por parte do Coordenador e do Técnico de Segurança ao nível do controlo/implementação da segurança no estaleiro.

Para alcançar o presente objetivo delineou-se uma metodologia baseada numa revisão sistemática, procurando artigos no campo da aplicação da segurança na fase de projeto e planeamento de obra, com o intuito de averiguar as tecnologias existentes e a sua forma de aplicação. Numa segunda fase desenvolveu-se um caso de estudo, baseado na metodologia BIM 4D. A partir de informação 2D em Autocad de um edifício desenvolveram-se modelos 3D em Revit e um modelo 4D em Navisworks, ao qual foram aplicadas medidas de segurança a implementar durante a execução da obra.

Da revisão sistemática retiraram-se conhecimentos sobre a metodologia BIM e identificaram-se as tecnologias mais utilizadas na fase de planeamento de obra para a implementação e gestão da segurança, nomeadamente Virtual Reality (VR), Geographic Information Systems (GIS) e BIM 4D. Com o caso de estudo e a aplicação de medidas de segurança como a colocação de guarda-corpos, tampos e andaimes, através da metodologia BIM 4D no software Navisworks, verificou-se que a simulação 4D permite acompanhar a completa execução da obra. Fornecendo ao responsável pela Coordenação de Segurança a capacidade de visualizar em cada fase quais as medidas de segurança a implementar, podendo comparar o que está a suceder na obra com o que está previsto no modelo e atuar de forma a corrigir possíveis disparidades.

Conclui-se com este trabalho que há uma grande iniciativa a nível do desenvolvimento de tecnologias que facilitem a gestão da segurança ao longo de todas as fases do projeto e que cada vez mais existe a preocupação de criar locais de trabalho mais seguros para quem executa as obras. Contudo, ainda há um longo caminho a percorrer para que a maioria das empresas implementem estas tecnologias e desenvolvam uma mentalidade de eliminação de perigo logo desde a fase inicial de conceção dos projetos.

Palavras-chave: Building Information Modeling, Segurança na Construção, Planeamento, Elementos de Segurança.

ABSTRACT

The construction industry is one of the sectors with the highest incidence of accidents, and it is imperative that this sector implements methodologies that contribute to the improvement of safety and health in the construction phase. Since the traditional solutions haven't proved to be effective, it is intended to verify whether the use of new technologies contributes to increasing the level of safety in construction sites. In this context, Building Information Modeling (BIM) has been pointed as a tool which can contribute to the implementation and improving security throughout the life cycle of a construction project, making full sense the investigation and development of technologies involved which contribute effectively to the reduction of risks and consequently to an increase in safety.

This dissertation aims to demonstrate the potential of BIM methodology in the implementation of security measures throughout planning and management phases of a construction site. The main goal is to find if this methodology contributes to a more effective work by the Coordinator and the Safety Technician in the control/implementation of safety at the site.

In order to reach this objective, a methodology based on a systematic review was conducted, researching articles on the field of security application throughout the design and work planning phase and the existing technologies and their form of application. In a second phase, a case study was developed, based on the BIM 4D methodology. From 2D (Autocad) information of a building, two 3D Revit models were developed and a 4D Navisworks model, to which safety measures, to implement during the execution of the work, were applied.

From the systematic review, knowledge about the BIM methodology was developed and was possible to identify the most used technologies during the planning phase which enable implementation and management of security, namely Virtual Reality (VR), Geographic Information Systems (GIS) and BIM 4D. With the case study and the application of security measures such as the placement of guardrails, tops and scaffolding, through the BIM 4D methodology in the Navisworks software, it was verified that the 4D simulation allows to follow the complete execution of the work. Providing the person in charge of the Security Coordination with the ability to visualize in each phase what security measures to implement, being able to compare what is happening on site in real time with what is predicted with the model and to act in order to correct possible disparities.

This work is able to conclude that there is a great initiative on the development of technologies which facilitate the management of safety throughout all phases of the project and that there is an increasing concern to create safer workplaces for those who perform the construction. However, there is still a long way to go for most companies der in to implement these technologies and develop a hazard-elimination mentality right from the initial design phase of the projects.

Keywords: Building Information Modeling, Construction Safety, Planning, Security Elements.

ÍNDICE

PARTE 1.....	1
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Enquadramento	3
1.2 Estrutura da dissertação	5
2 ESTADO DA ARTE.....	7
2.1 Conhecimento Científico	7
2.1.1 Seleção de artigos.....	7
2.1.2 Resultados da seleção de artigos.....	8
2.1.2.1 Segurança no projeto	10
2.1.2.2 Segurança no planeamento	11
2.2 Conceitos de ordem técnica e/ou científica	13
2.2.1 Building Information Modeling	13
2.2.1.1 3D – Modelo digital de conceção	15
2.2.1.2 4D – Planeamento	15
2.2.1.3 5D – Custos.....	15
2.2.1.4 6D – Sustentabilidade.....	16
2.2.1.5 7D – Gestão de instalações	16
2.2.2 <i>Software</i>	16
2.2.2.1 Autodesk Revit.....	17
2.2.2.2 Autodesk Navisworks Manage	18
2.2.3 Prevenção de riscos na construção	19
2.2.3.1 Princípios gerais de prevenção.....	19
2.2.3.2 Fatores de perigosidade do setor	20
2.2.3.3 Identificação de perigos e riscos	21
2.2.3.4 Metodologia BIM na prevenção de riscos	23
2.2.4 Intervenientes no processo de segurança.....	25
2.3 Enquadramento Legal e Normativo	27
2.4 Objetivos da Dissertação	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29

3.1	Metodologia.....	29
3.2	Caso de estudo	30
3.2.1	Enquadramento.....	30
3.2.2	Edifício em estudo	31
3.2.3	O processo construtivo.....	33
3.2.4	Fichas de segurança	34
3.2.5	Medidas de segurança	40
3.2.6	Modelação do edifício em 3D	40
3.2.6.1	Modelo de Estabilidade.....	42
3.2.6.2	Modelo de Arquitetura.....	46
3.2.6.3	Modelação de elementos de segurança	49
3.2.6.4	Incorporação de elementos de segurança nos modelos.....	60
3.2.7	Planeamento da obra.....	62
3.2.8	Modelação 4D da obra.....	64
3.2.8.1	Processo de modelação 4D.....	65
3.2.8.2	A segurança no modelo 4D	71
PARTE 2	75
4	RESULTADOS	77
4.1	Quantificação dos elementos de segurança	77
4.2	Simulação 4D	78
4.3	Discussão dos resultados.....	79
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	81
5.1	Conclusões.....	81
5.2	Dificuldades sentidas	83
5.3	Perspetiva de trabalhos futuros.....	83
6	BIBLIOGRAFIA.....	85
7	ANEXOS	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Acidentes de trabalho em Portugal em 2016 (adaptado ACT).....	4
Fig. 2.1 – Diagrama Prisma	8
Fig. 2.2 – Quadro de gestão de risco (Zou, Kiviniemi, & Jones, 2016)	9
Fig. 2.3 – Ciclo de vida do BIM (Dispenza, 2010)	13
Fig. 2.4 – Dimensões do BIM.....	14
Fig. 2.5 – Elementos paramétricos – Revit (Autodesk, 2011)	18
Fig. 2.6 – Comparação do modelo de planeamento de obra com a realidade: a, b) Vista geral do estaleiro; c, d) Vista de um bordo de laje; e, f) Trabalhos numa laje (Zhang et al., 2015a).....	24
Fig. 2.7 – Exemplo de organograma dos intervenientes no processo de segurança	27
Fig. 3.1 – Metodologia adotada para o desenvolvimento da dissertação	30
Fig. 3.2 – Planta do piso -1 – planta de arquitetura em AutoCad	32
Fig. 3.3 – Planta do piso 0 – planta de arquitetura em AutoCad.....	32
Fig. 3.4 – Corte 1 – corte de arquitetura em AutoCad.....	33
Fig. 3.5 – Esquema de trabalho de desenvolvimento dos modelos	41
Fig. 3.6 – <i>Architectural and Structural template</i>	41
Fig. 3.7 – <i>Ribbon toolbar – Revit Structure</i>	42
Fig. 3.8 – Grelha para servir de orientação à colocação de elementos estruturais	42
Fig. 3.9 – Definição dos elementos estruturais	43
Fig. 3.10 – Definição dos parâmetros da parede de fundação	43
Fig. 3.11 – Modelo estrutural em 3D	44
Fig. 3.12 – Imagens interiores da estrutura – a) Piso 0, b) Piso -1.....	44
Fig. 3.13 – Ativação da visualização da topografia no modelo estrutural.....	45
Fig. 3.14 – Planta do terreno	45
Fig. 3.15 – Modelo estrutural em 3D com o terreno	46
Fig. 3.16 – <i>Ribbon toolbar – Revit Architecture</i>	46
Fig. 3.17 – Níveis entre pisos (Alçado Sul)	47
Fig. 3.18 – Corte 3 da arquitetura.....	47
Fig. 3.19 – Modelo arquitetónico em 3D.....	48
Fig. 3.20 – Planta do terreno	48
Fig. 3.21 – Modelo arquitetónico em 3D com o terreno	49

Fig. 3.22 – Vedação utilizada na delimitação do estaleiro	50
Fig. 3.23 – Vedação de estaleiro	51
Fig. 3.24 – Comando <i>Subregion</i>	51
Fig. 3.25 – Caminhos de circulação	51
Fig. 3.26 – Corpo do elemento vertical que compõe o sistema guarda-corpos, a) com sistema de aperto às lajes, b) com sistema de encaixe em espigão	52
Fig. 3.27 – <i>Interface Families</i>	53
Fig. 3.28 – Definição dos parâmetros do elemento vertical que compõe o sistema guarda-corpos	53
Fig. 3.29 – Comando para criação de parâmetros partilhados.....	54
Fig. 3.30 – Edição dos parâmetros partilhados dos guarda-corpos	55
Fig. 3.31 – Associação de parâmetros do sistema guarda-corpos	55
Fig. 3.32 – Alçado de guarda-corpos com sistema de aperto às lajes.....	56
Fig. 3.33 – Guarda-corpos com sistema de aperto às lajes em 3D	56
Fig. 3.34 – Alçado de guarda-corpos com sistema de encaixe em espigão	56
Fig. 3.35 – Guarda-corpos com encaixe em espigão em 3D	57
Fig. 3.36 – <i>Metric Generic Model – template</i> para a criação da família Tampus	57
Fig. 3.37 – Edição dos parâmetros partilhados dos Tampus	58
Fig. 3.38 – Parâmetros da família Tampus.....	58
Fig. 3.39 – Modelo 3D da família Tampus, com a apresentação dos vários Tampus	59
Fig. 3.40 – Andaime em 3D	59
Fig. 3.41 – Plataforma elevatória.....	60
Fig. 3.42 – Esquema de trabalho de incorporação de elementos de segurança nos modelos.....	60
Fig. 3.43 – Vista geral do modelo estrutural e elementos de segurança em 3D	61
Fig. 3.44 – Vistas pormenorizadas dos elementos de segurança no modelo estrutural	61
Fig. 3.45 – Vista geral do modelo de arquitetura e elementos de segurança em 3D	62
Fig. 3.46 – Vistas pormenorizadas dos elementos de segurança no modelo de arquitetura	62
Fig. 3.47 – Zona técnica	63
Fig. 3.48 – Esquema de trabalho do Modelo 4D	65
Fig. 3.49 – Conversão dos ficheiros RVT para NWC	65
Fig. 3.50 – Navisworks: a) Topografia, b) Estabilidade, c) Arquitetura.....	66
Fig. 3.51 – Modelo Composto – Navisworks.....	67

Fig. 3.52 – <i>Setection Tree</i>	67
Fig. 3.53 – Definição de <i>Sets</i> no Navisworks	68
Fig. 3.54 – Importação do ficheiro Excel para o Navisworks	69
Fig. 3.55 – Cronograma da obra no Navisworks.....	69
Fig. 3.56 – Associação dos <i>Sets</i> às tarefas do cronograma.....	70
Fig. 3.57 – Cronograma final da obra no Navisworks.....	70
Fig. 3.58 – Localização dos ficheiros CAD (Revit) nas propriedades do Navisworks	71
Fig. 3.59 – Comentários nas tarefas do <i>TimeLiner</i>	72
Fig. 3.60 – Localização dos comentários.....	72
Fig. 3.61 – Ativação dos <i>Links</i>	73
Fig. 3.62 – <i>Links</i> - a) Modelo de estabilidade, b) Modelo de arquitetura.....	73
Fig. 3.63 – <i>Links</i> de segurança - a) Modelo de estabilidade, b) Modelo de arquitetura.....	74
Fig. 4.1 – Simulação 4D	78
Fig. 4.2 – Simulação 4D (continuação)	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela das palavras-chave	7
Tabela 2.2 – Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos.....	11
Tabela 2.3 – Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos (continuação).....	12
Tabela 2.4 –Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos (continuação).....	13
Tabela 2.5 – Comparação das funcionalidades entre <i>software</i> (Zhang et al., 2015a).....	17
Tabela 2.6 – Tipos de riscos profissionais (adaptado Sadhra & Rampal, 1999)	22
Tabela 2.7 – Identificação de riscos na indústria da construção	22
Tabela 2.8 – Identificação de riscos na indústria da construção (continuação).....	23
Tabela 3.1 – Descrição dos espaços do edifício.....	31
Tabela 3.2 – Descrição dos espaços do edifício (continuação).....	32
Tabela 3.3 – Ficha de segurança de escavação	35
Tabela 3.4 – Ficha de segurança de escavação (continuação)	36
Tabela 3.5 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes	37
Tabela 3.6 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes (continuação).....	38
Tabela 3.7 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes (continuação).....	39
Tabela 3.8 – Implementação de elementos de segurança	40
Tabela 3.9 – Sites de famílias para Revit	49
Tabela 3.10 – Planeamento da obra.....	64
Tabela 4.1 – Mapa de quantidades dos Tampos	77
Tabela 4.2 – Mapa de quantidades dos guarda-corpos (pequeno extrato).....	77

GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

4D – Integração da componente tempo (planeamento) no modelo tridimensional

5D – Integração do controlo dos custos no modelo tridimensional

6D – Integração da sustentabilidade e desempenho energético no modelo tridimensional

7D – Integração da gestão de ativos (manutenção e gestão - facility management) no modelo tridimensional

nD – Várias dimensões

ACT – Autoridade para as Condições do trabalho

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer-Aided Design

CSS – Chirp Spread Spectrum

EPI – Equipamento de proteção individual

GIS – Geographic information systems

GPS – Global Position Systems

IFC – Industrial Foundation Class

IR – Infrared Radiation

MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing

OHSAS - Occupational Health and Safety Assessment Series

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

PSS – Plano de Segurança e Saúde

PTD – Prevention Through Design

RFID – Radio Frequency Identification

SST – Segurança e Saúde do Trabalho

US – Ultra Sound

UWB – Ultra-Wide Band

VP – Virtual Prototyping

VR – Virtual Reality

WLAN – Wireless Local Area Networks

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Ao longo dos tempos tem-se verificado um grande avanço tecnológico em diferentes áreas empresariais, contudo na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) as novas tecnologias não têm sido aproveitadas e implementadas no seu expoente máximo, tanto ao nível de elaboração de projeto, planeamento e execução de obra, como também a nível da implementação da segurança e saúde.

Tal como todos os outros setores do mercado, também o setor da construção está cada vez mais competitivo. Só as empresas mais eficazes e com provas dadas de qualidade na execução dos trabalhos é que são capazes de se impor no mercado. Posto isto, é cada vez mais fundamental que as empresas deste setor apostem num crescimento sólido e que vá de encontro às exigências de qualidade, saúde e segurança impostas pelos mercados.

Atualmente verifica-se que os *stakeholders* não se preocupam somente com as questões associadas à qualidade, estes estão cada vez mais voltados para as questões de segurança e saúde ocupacional, isto porque uma cultura de segurança e saúde traz um vasto conjunto de vantagens, nomeadamente:

- Redução de riscos de acidentes de trabalho e de doenças profissionais, contribuindo para um ambiente de trabalho mais saudável, ajudando na redução do absentismo e baixas por doenças e/ou por acidentes de trabalho;
- Melhoria da imagem perante os *stakeholders*, isto é, confere a imagem de uma organização segura e fiável;
- Redução de encargos laborais (diminuição dos prémios de seguros, indemnizações);
- Redução de encargos estatais decorrentes da diminuição da sinistralidade (diminuição das despesas do Serviço de Nacional de Saúde e com o Sistema de Segurança Social);
- Melhoria da satisfação e motivação dos trabalhadores, pela garantia de um local de trabalho seguro (Neto, 2012).

No campo da segurança e saúde ocupacional verifica-se que o Governo Português e a União Europeia têm contribuído através da elaboração de legislação e da criação de organismos (ACT, ILO, EU-OSHA), com o intuito de implementar e promover medidas, no sentido de melhorar a segurança e saúde dos trabalhadores no trabalho. Estas entidades têm promovido várias iniciativas e elaborado várias publicações, sendo que várias destinam-se ao setor da construção e visam chamar atenção para comportamentos e criar referências nas formas de prevenção dos acidentes.

Segundo a European Agency for Safety and Health at Work, a nível mundial os trabalhadores da construção têm três vezes mais probabilidade de sofrer acidentes mortais e duas vezes mais probabilidade de sofrer ferimentos do que os trabalhadores das outras áreas. (EU-OSHA, 2003) Referindo que todos os anos morrem cerca de 1 300 trabalhadores, 800 000 ficam feridos e muitos outros sofrem problemas de saúde.¹

¹ <https://osha.europa.eu/pt/tools-and-publications/publications/factsheets/55/view> (acedido em 16/02/2017)

Através dos registos de acidentes de trabalho reunidos pela Autoridade de Condições de Trabalho (ACT), Figura 1.1², facilmente se constata que há uma grande incidência de acidentes, 84 acidentes graves e 42 acidentes mortais no sector da construção em Portugal, demonstrando ser o setor com maior número de acidentes mortais no ano de 2016.

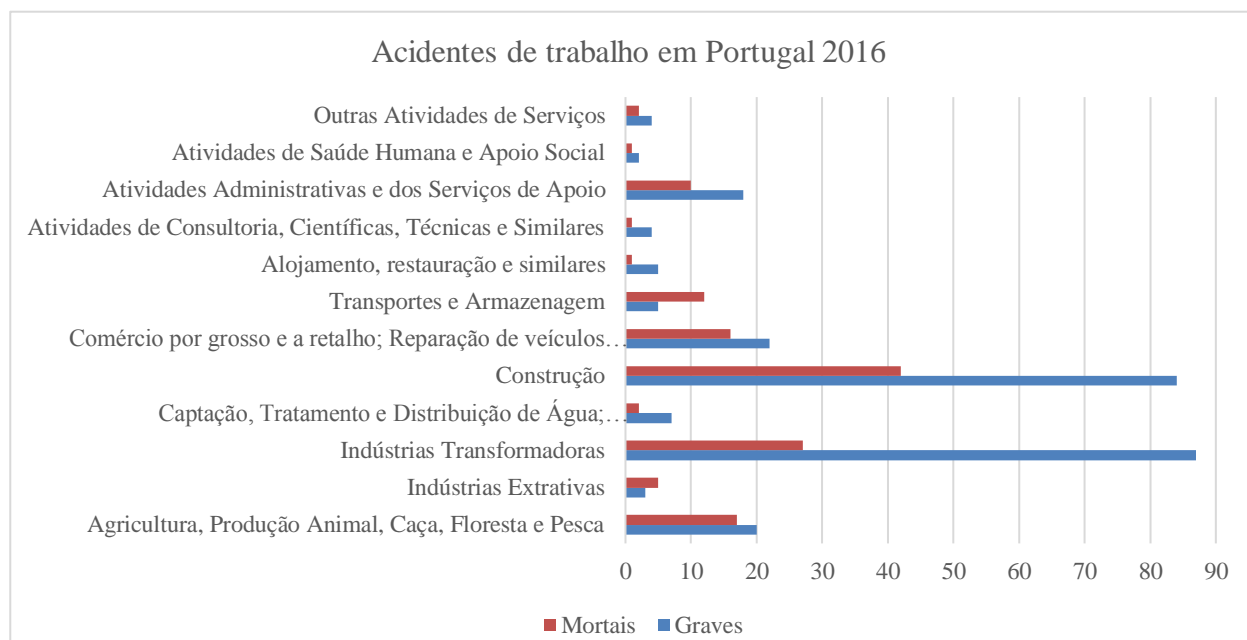


Fig. 1.1 – Acidentes de trabalho em Portugal em 2016 (adaptado ACT)

Confirma-se através das estatísticas nacionais e internacionais de acidentes de trabalho a perigosidade do setor da construção, reforçando-se que este é um setor de risco elevado. Torna-se, portanto, fundamental intervir neste campo, uma vez que os custos humanos e económicos associados aos acidentes são enormes.

Tendo em consideração o panorama nacional e internacional é evidente que existem várias lacunas no que concerne à prevenção, implementação e promoção da segurança no setor da construção. Revelando que as metodologias até agora adotadas não têm sido suficientes para suplantar a perigosidade do setor.

Um dos principais obstáculos relacionados com o planeamento tradicional da segurança é que este depende de desenhos e esquemas 2D em papel, sendo feita a identificação das necessidades de equipamentos de segurança através dessa informação. Logo, torna-se difícil a devida implementação segurança em obra, ficando esta dependente da experiência do responsável pela segurança em identificar e implementar em todas as fases da obra as medidas de segurança, sendo este um processo complicado devido à natureza dinâmica da construção (Zhang et al., 2015a).

² [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx) (acedido em 16/02/2017)

Nesse sentido há que adotar novas tecnologias e novas metodologias que sejam capazes de acompanhar as necessidades emergentes deste setor na área de segurança e saúde, que demonstrem maior eficácia e que contribuam para a redução dos acidentes de trabalho.

Recentemente tem-se desenvolvido um grande interesse na utilização da metodologia Building Information Modeling (BIM) para a implementação da segurança ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. Com os avanços recentes das tecnologias BIM, estas vêm fornecendo pontos de partida decentes para o desenvolvimento de soluções pró-ativas de segurança no planeamento e gestão dos locais de construção. (Enshassi, Ayyash, & Choudhry, 2016)

Uma vez que há um grande interesse voltado para a metodologia BIM e como na atualidade esta tem vindo a ser frequentemente adotada, a presente dissertação pretende demonstrar a potencialidade do Building Information Modeling na prevenção do risco e promoção da segurança durante a fase de planeamento de obra e verificar a eficácia da solução e métodos adotados a nível de interpretação e implementação dos mesmos, no momento de execução da obra.

Para demonstrar as potencialidades da metodologia BIM, recorreu-se à utilização de três *software*, Autodesk Revit, Microsoft Excel e Autodesk Navisworks. Da simultânea utilização destes criou-se um modelo 4D com o intuito de analisar a adequabilidade do modelo à possível utilização em obra.

Todo este estudo partiu da seguinte questão de investigação: *Qual o contributo das ferramentas digitais da metodologia Building Information Modeling para o planeamento e gestão da segurança no setor da construção?* Sendo esta questão o ponto de lançamento para o desenvolvimento da metodologia de revisão sistemática.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos.

O Primeiro Capítulo corresponde à introdução, onde se justifica a importância da metodologia Building Information Modeling no campo da segurança ocupacional.

O Segundo Capítulo corresponde ao estado da arte, englobando a revisão sistemática e toda a metodologia seguida no processo de investigação do conhecimento sobre a segurança na metodologia BIM. Neste capítulo também se fez um apanhado dos conceitos técnicos mais relevantes para a compreensão deste trabalho. Especifica-se o significado da metodologia BIM e as suas várias dimensões e a apresentam-se os *software* selecionados para a realização da modelação. Aborda-se a temática da prevenção de riscos na construção, identificando os fatores de perigosidade e os principais perigos e riscos presentes na construção, analisando ainda a contribuição do BIM na prevenção do risco. Também neste capítulo, é feito um apanhado da legislação relacionada com segurança e saúde aplicável ao setor da construção. Realça-se por fim os principais objetivos da dissertação.

No Terceiro Capítulo descreve-se toda a metodologia aplicada na dissertação e iniciam-se os trabalhos referentes ao caso de estudo, explorando o edifício a nível da arquitetura e estabilidade e elaborando fichas de segurança para alguns momentos do processo construtivo. Neste capítulo desenvolvem-se os modelos em 3D e incorporam-se os elementos de segurança nos modelos, cria-se o cronograma da obra e na última parte do caso de estudo obtém-se o modelo em 4D.

O Quarto Capítulo é referente aos resultados, estando incluído neste capítulo a quantificação dos elementos de segurança (mapas de quantidades) e a simulação da construção obtida no modelo 4D.

No Quinto Capítulo são apresentadas as conclusões e as perspetivas futuras.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Conhecimento Científico

A pesquisa bibliográfica desenvolvida teve por base a metodologia de revisão sistemática referenciada em PRISMA Statement³, tendo esta sido desenvolvida de forma a responder à questão de investigação: *Qual o contributo das ferramentas digitais da metodologia Building Information Modeling para o planeamento e gestão da segurança no setor da construção?* Com o principal intuito de identificar e perceber quais as tecnologias que têm vindo a ser utilizadas para implementar a segurança na fase de planeamento.

Neste sentido realizou-se uma vasta pesquisa nas seguintes bases de dados: Scopus, Science Direct, Web of Science e Academic Search Complete. Nas várias bases de dados foram introduzidas várias combinações com as palavras-chave, apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Tabela das palavras-chave

	A	B	C	D	E
1	“Building information modeling”	Safety	Planning	Hazards	Navisworks
2	BIM	“Construction safety”	4D		
3			Management		

Combinações utilizadas: A1+B1+C1, A2+B1+C1, A1+B1+C2, A2+B1+C2, A1+B2+C1, A2+B2+C1, A1+B2+C2, A2+B2+C2, A1+C1+D1, A2+C1+D1, A2 + D1, A2+B1+C3, A2+E1. A última combinação foi efetuada com o intuito de averiguar a possível existência de artigos com a aplicação direta do *software* Navisworks.

2.1.1 Seleção de artigos

Introduzidas as diferentes combinações das palavras-chave, em cada base de dados, obteve-se um determinado número de artigos, sendo seguidamente excluídos os artigos que não cumpriam os seguintes critérios: 1) Data: de 2012 até 2017; 2) Tipo de artigo: Review, article e article in press; 3) Língua: Inglesa; 4) Fora de tema: Leitura dos títulos para verificar a sua relevância.

Seguidamente importou-se para o Mendeley os artigos selecionados, onde se procedeu à eliminação dos artigos duplicados. Realizou-se a uma nova revisão dos artigos, sendo neste ponto feita uma análise dos respetivos resumos, para identificar se estes estavam dentro dos seguintes critérios: 1) Resumo devidamente redigido: introdução, objetivos, metodologia, resultados e conclusão; 2) Artigos de livre acesso; 3) Fora do tema: artigos que não incluíam questões de

³ <http://www.prisma-statement.org/> (acedido em 20/11/2016)

segurança; artigos referentes a evacuações em caso de incêndio; artigos referentes à fase de manutenção do edifício; obras de elevada complexidade (metros...).

Por último realizou-se a leitura dos artigos e consultou-se as respectivas bibliografias com o intuito de verificar a possibilidade de incluir alguns artigos das mesmas.

2.1.2 Resultados da seleção de artigos

Através da metodologia adotada identificaram-se 5269 artigos. Após os critérios de exclusão (n=4572) e a eliminação dos artigos duplicados (n=587), chegou-se a 110 artigos para análise. Sobre estes 110 artigos incidiu uma análise nos resumos, de onde se obteve 25 artigos para leitura integral. Com a leitura dos artigos e da respetiva análise da bibliografia ficou-se com 27 artigos para análise e aprofundamento dos conhecimentos. A obtenção destes resultados é observável a partir da Figura 2.1.

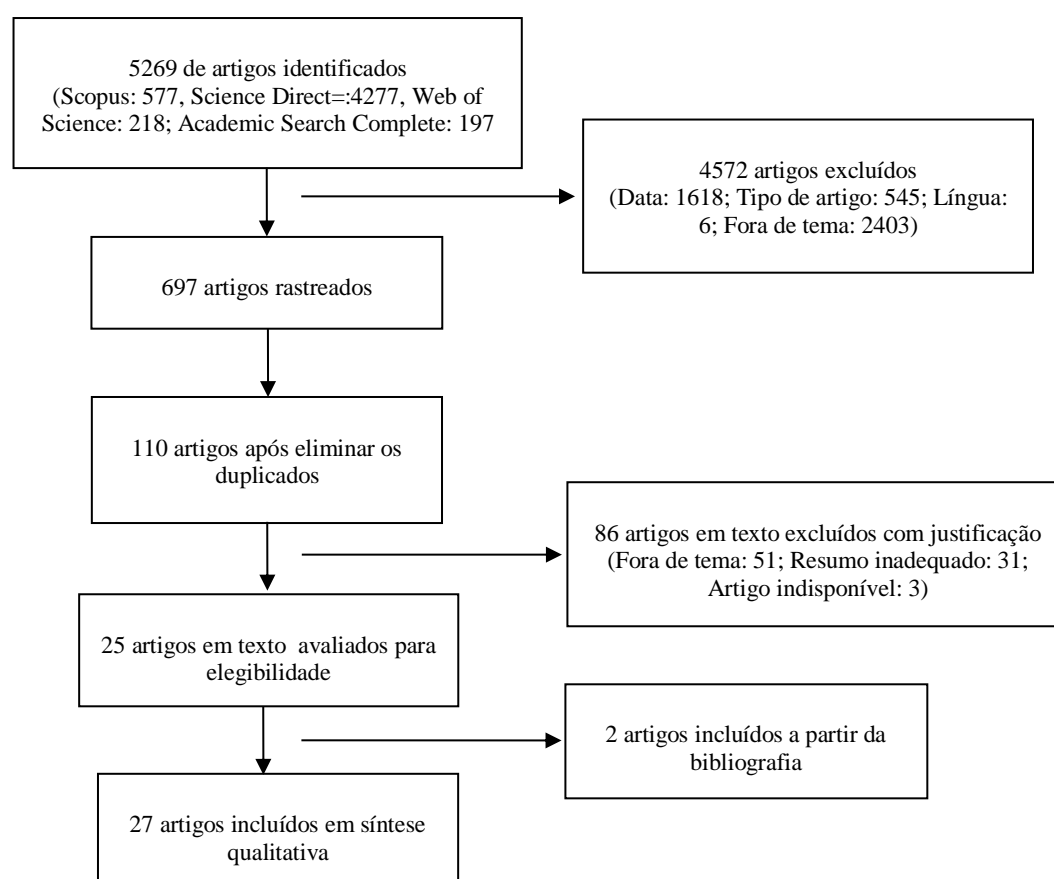


Fig. 2.1 – Diagrama Prisma

Durante o estudo dos artigos seleccionados foi possível verificar que as questões de segurança/gestão do risco podem ser geridas ao longo do ciclo de vida do edifício, nomeadamente

em 3 fases, na fase de projeto/*design* e planeamento, na fase de construção e na fase de manutenção do edifício, Figura 2.2.

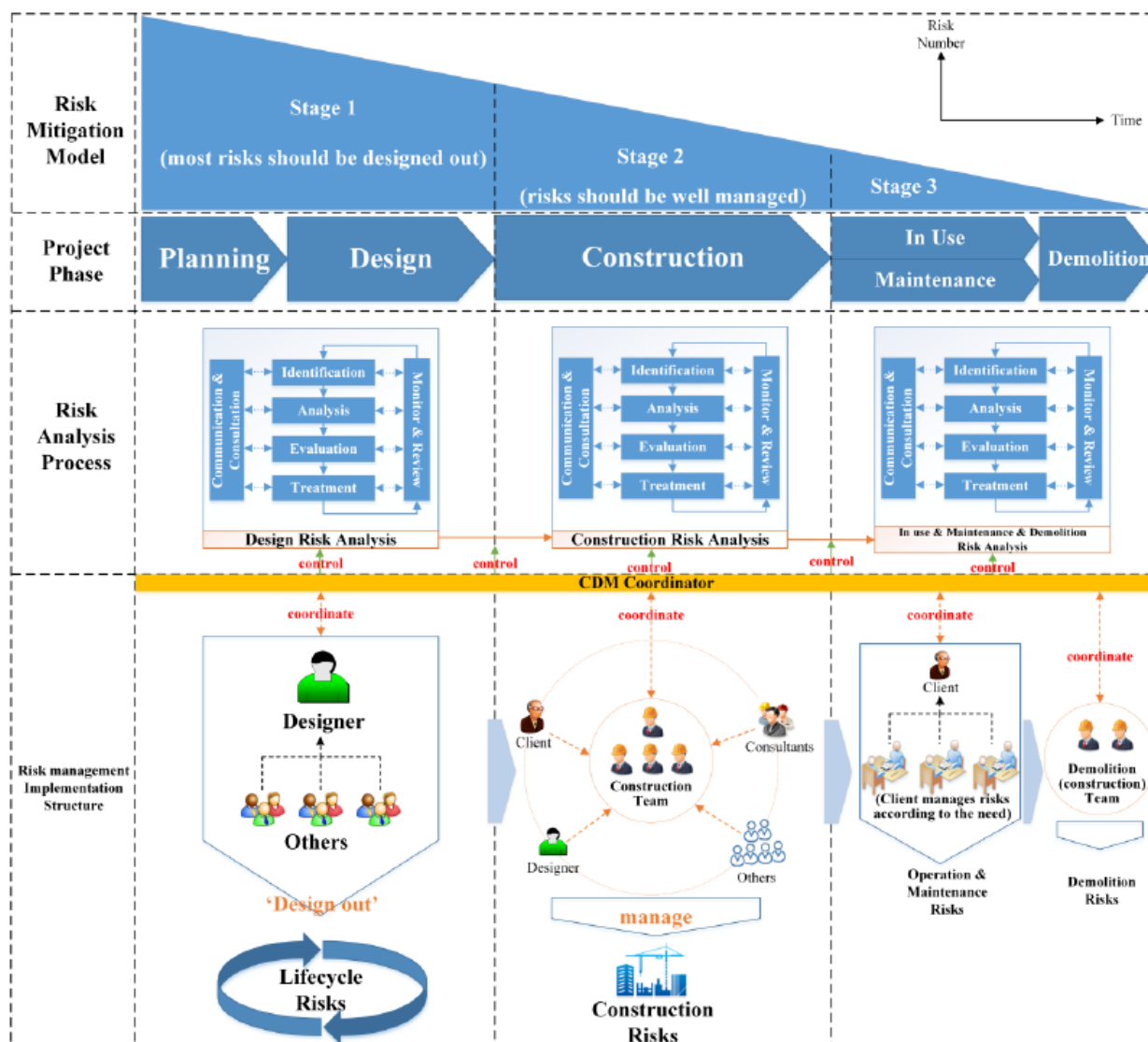


Fig. 2.2 – Quadro de gestão de risco (Zou, Kiviniemi, & Jones, 2016)

Pela Figura 2.2, é observável que a capacidade de intervenção a nível da mitigação dos riscos vai diminuindo ao longo do tempo conforme se avança no projeto. Desta forma, demonstra-se que a maior parte dos riscos devem ser reduzidos e/ou eliminados na fase inicial de projeto e planeamento, ficando grande parte da responsabilidade do processo de mitigação do risco nas mãos dos projetistas. Reafirmando-se assim a importância do conhecimento que os projetistas devem ter sobre a temática de segurança e saúde do trabalho, pois as soluções adotadas contribuirão para a segurança dos trabalhadores que executarão a obra.

2.1.2.1 Segurança no projeto

No sentido de reduzir os riscos profissionais existentes no setor da construção a legislação Portuguesa, *Decreto-Lei nº 273/2003*, previu a revisão e aperfeiçoamento de normas de segurança, definindo o plano de segurança e saúde como “*um dos instrumentos fundamentais do planeamento e da organização da segurança no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, ao dispor do sistema de coordenação de segurança, o que justifica a necessidade de aperfeiçoar a respetiva regulamentação. ... O plano deve ser elaborado a partir da fase do projeto da obra, sendo posteriormente desenvolvido e especificado antes de se passar à execução da obra, com a abertura do estaleiro. Trata-se de um único plano de segurança e saúde para a obra, cuja elaboração acompanha a evolução da fase de projeto da obra para a da sua execução (Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, 2003).*”

Com este decreto, pretende-se mostrar que desde a fase inicial de conceção do projeto, está previsto em lei que os projetistas devem ter em conta as suas soluções de *design*, de forma a gerar o mínimo de risco possível e definindo desde o início estratégias de segurança e saúde para obra.

Apesar de se verificar a importância de intervenção na segurança desde a fase inicial de conceção, o que se constata é que ao longo dos tempos foram desenvolvidas várias tecnologias para a fase de construção e muito poucas para suportar a segurança na construção através do *design/projeto* (Zhou, Whyte, & Sacks, 2012).

Perante a tentativa de diminuir a sinistralidade neste setor, torna-se imperioso a utilização de tecnologias que possibilitem o reforço da implementação e gestão da segurança, começando desde o início do processo, ou seja, na fase de projeto/*design*.

Idealmente, uma ferramenta de *software* PTD (prevenção através do *Design*) deve fomentar três funções principais, para auxiliar os projetistas a fornecer modelos de informação de construção de alta qualidade num processo de *design* maduro, nomeadamente: (1) minimizar a não conformidade de segurança durante a fase de *Design* principal, informando e orientando os projetistas sobre opções alternativas de *design* e as práticas de redução de consequências, (2) realizar a deteção de não conformidade de segurança após o trabalho de conceção principal ter sido concluído, através da realização de verificações globais de segurança, e (3) corrigir a situação de não conformidade de segurança (Qi, Issa, Olbina, & Hinze, 2014).

No âmbito da segurança através do *design* constatou-se que as tecnologias atualmente existentes consistem em bases de dados formadas por *checklists* que auxiliam os projetistas na identificação e mitigação dos riscos no *design*. Existem ferramentas que permitem a comparação com soluções alternativas geradoras de menores riscos e ainda algoritmos que analisam os modelos e tentam encontrar riscos e propor medidas preventivas. (ver tabela 2.2, 2.3 e 2.4)

Verificou-se ainda que na fase do projeto a identificação de riscos e mitigação dos mesmos, está sujeita à capacidade do projetista em identificar e prever potenciais situações de risco. Caso o projetista não possua conhecimentos e experiência neste âmbito, não será capaz de atuar sobre estas questões e a oportunidade de diminuir os riscos na construção na fase de *design* não será aproveitada (Hallowell & Hansen, 2016).

Além das ferramentas digitais alguns autores referem que na prevenção através do *desgin* é fundamental a melhoria de comunicação e a coordenação entre os diferentes *stakeholders*. Esta melhoria de comunicação seria capaz de minimizar a separação existente entre os projetistas e o pessoal da construção, sendo que com a experiência de obra deste pessoal o projetista poderia ser auxiliado no reconhecimento e eliminação de riscos na fase de *design* (Qi et al., 2014).

2.1.2.2 Segurança no planeamento

Dando continuidade ao observado anteriormente na Figura 2.2, esta realça o planeamento da construção como um dos elementos que mais contribui para a redução de riscos. Demonstrando que o investimento por parte dos projetistas e stakeholders nesta fase é de grande interesse para a melhoria da segurança nos projetos.

A este nível foram identificadas as seguintes tecnologias: BIM 4D, VR (*Virtual Reality*) e GIS (*Geographic information systems*), ver tabela 2.2, 2.3 e 2.4.

BIM 4D - O conceito do BIM 4D consiste em adicionar informações de planeamento de construção a um modelo 3D, para estabelecer a colaboração, comunicação e visualização clara das sequências de construção. Observa-se que a aplicação mais comum do BIM 4D para a gestão risco consiste em estabelecer um modelo 4D, abrangente, reunindo todos os dados de projeto sobre objetos de construção, processos de construção, atividades e sequências, conduzindo análises de risco adicionais com base no modelo (Zou et al., 2016).

VR (*Virtual Reality*) - É um sistema virtual que consiste em um computador capaz de animação em tempo real, controlado através de um grupo de equipamentos para simular a presença física em lugares no mundo real. VR tem sido usada para fornecer um ambiente de computador 3D, virtual e interativo, possibilitando o treino dos trabalhadores no que concerne à capacidade de identificação de potenciais riscos, através da simulação de cenários perigosos (Zou et al., 2016).

GIS (*Geographic information systems*) - é um sistema que fornece uma coleção de informações ambientais. O GIS pode ser integrado num Sistema de Apoio à Decisão (DSS) para monitorizar e controlar os riscos de segurança, adicionando à componente 3D, topografia e análise geoespacial, ajudando na gestão e otimização do estaleiro a nível da localização dos equipamentos (Zou et al., 2016).

Tabela 2.2 – Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos

Fase	Tecnologia	Objetivo	Autor
Planeamento	Revit; Navisworks; Protégé.	Desenvolver o protótipo de uma ferramenta de gestão de conhecimento de risco na construção, facilitando a reutilização desse conhecimento durante o processo de análise de risco.	(L. Y. Ding, Zhong, Wu, & Luo, 2016)
Planeamento	VP - Virtual prototyping based safety management (VP-SM): VP-based modelling and simulation, VP-based identification of unsafe factors.	Desenvolver uma ferramenta através de tecnologia VP para auxiliar na gestão da segurança de projetos de construção. Utilização de VP para construir os modelos de edifícios em 3D e simular os processos de construção.	(H. L. L. Guo et al., 2013)

Tabela 2.3 – Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos (continuação)

Fase	Tecnologia	Objetivo	Autor
Treino trabalhadores	VP-based safety training.	Elaborar treinos de segurança para os trabalhadores antes do início da construção, de modo a evitar a ocorrência de acidentes.	(H. L. L. Guo et al., 2013)
Treino trabalhadores	VR - Virtual Reality.	Através da visualização do ambiente, os trabalhadores conseguem reconhecer mais facilmente os riscos envolvidos, melhorando os comportamentos face aos riscos.	(H. Guo, Yu, & Skitmore, 2017)
Construção	<p>Tecnologias de visualização:</p> <p>-Tecnologias de localização baseadas em sensores - (Radio Frequency Identification (RFID), Ultra-wide Band (UWB), Ultra Sound (US), Global Position Systems (GPS), Wireless Local Area Networks (WLAN), Infrared Radiation (IR) and Chirp Spread Spectrum (CSS)).</p> <p>-Tecnologias de localização baseadas em imagens - calcula as coordenadas 3D de um trabalhador com base na posição de duas câmaras e a posição relativa entre trabalhadores e câmaras.</p>	Integrar e analisar informações sobre o comportamento dos trabalhadores e o ambiente no estaleiro com a ajuda de tecnologias de localização, imagem e alerta, auxiliando na monitorização de comportamentos inseguros e em operações de equipamentos, implementando alertas de segurança em tempo real.	(H. Guo, Yu, and Skitmore 2017)
Projeto/Design	Capacidade de reconhecimento de riscos por parte dos projetistas, <i>Checklists</i> , ToolSHed.	Utilizar ferramentas para a prevenção de riscos de construção na fase de projeto: - <i>Design for Safety Toolbox (checklist)</i> que inclui uma interface gráfica de usuário e ajuda os projetistas a identificar e mitigar os perigos, com mais de 400 sugestões de design. -ToolSHed, esta foi desenvolvida para avaliar o risco de atividades específicas ou perigos comuns. A ferramenta gera um relatório que auxilia os projetistas com a avaliação sistemática e comparação de soluções alternativas de projeto.	(Hallowell & Hansen, 2016)
Projeto/Design	<i>Safety rule database (BIM-safety rule)</i> ; Unity 3D; Revit.	Desenvolver uma abordagem prática DfS (<i>Design for Safety</i>) que pode identificar automaticamente possíveis problemas de segurança resultantes da concepção, integrando o BIM (Building Information Modeling) com as regras de segurança do <i>design</i> .	(Hongling, Yantao, Weisheng, & Yan, 2016)
Projeto/Design e Planeamento	BIM 4D: Safety Measure Advisor, AutoCAD, Microsoft Project, Visual Basic.	Desenvolver uma ferramenta que integre a segurança em projeto, planeamento e controlo. O sistema é suportado com banco de dados que acumulou conhecimento de segurança, promovendo um envolvimento precoce das partes relevantes, fornecendo informações decisivas sobre o orçamento, cronograma e treino. Também melhora a comunicação, sensibiliza as partes e pode ser usado para alocar recursos e monitorar o desempenho.	(Benjaoran & Bhokha, 2010)
Planeamento	Tekla Structures, ArchiCAD.	Desenvolver e testar soluções para o planeamento e gestão da segurança no estaleiro de obras usando modelos 4D do estaleiro mais dinâmicos.	(Sulankivi, Kähkönen, & Kiviniemi, 2010)
Planeamento	<i>Automated safety rule checking system</i> , Tekla Structures, Excel, Revit, Navisworks, Solibri Model Checker (SMC).	Desenvolver uma ferramenta automática baseada em BIM de identificação e planeamento que: 1) identifique potenciais riscos de queda baseados no cronograma de construção, 2) auxilie as tarefas de modelagem e planeamento de trabalho intensivo do sistema de prevenção de quedas, (3) melhore a consciencialização dos trabalhadores para a segurança através da visualização dos potenciais riscos.	(Zhang et al., 2015b)

Tabela 2.4 –Tabela resumo das tecnologias BIM analisadas nos artigos (continuação)

Fase	Tecnologia	Objetivo	Autor
Projeto/ <i>Design</i> e Planeamento	<i>Automated rule-based checking system.</i>	Implementar uma plataforma automatizada de deteção e proteção de riscos de queda.	(Melzner, Zhang, Teizer, & Bargstädt, 2013)
Projeto/ <i>Design</i>	Solibri Model Checker, BIM Server, (<i>safety rule checking</i>).	Desenvolver uma ferramenta BIM, baseada em prevenção através do <i>design</i> , para segurança na construção. A ferramenta de <i>software</i> PTD foi desenvolvida usando a tecnologia BIM para configurar um banco de dados PTD, adotando um <i>software</i> de verificação de modelos que verificasse automaticamente os modelos de informações de construção desenvolvidos em relação aos conjuntos de regras de segurança.	(Qi et al., 2014)

2.2 Conceitos de ordem técnica e/ou científica

2.2.1 Building Information Modeling

Building Information Modeling é um processo integrado que permite explorar as características físicas e funcionais de um projeto, antes deste ser construído. É um sistema coordenado, consistente, sendo usado em todo o processo de conceção de um projeto, permitindo uma melhor visualização e simulação da conjugação com o mundo real (Dispenza, 2010).

Esta é uma metodologia composta por ferramentas, processos e tecnologias que definem a documentação digital sobre um edifício, a nível do seu desempenho, planeamento, construção e mais tarde a sua manutenção. Portanto o BIM descreve uma atividade, não um objeto (Eastman, 2011). Na Figura 2.3 é possível observar todo o ciclo de vida da metodologia BIM, ou seja, as fases em que esta pode ser aplicada.

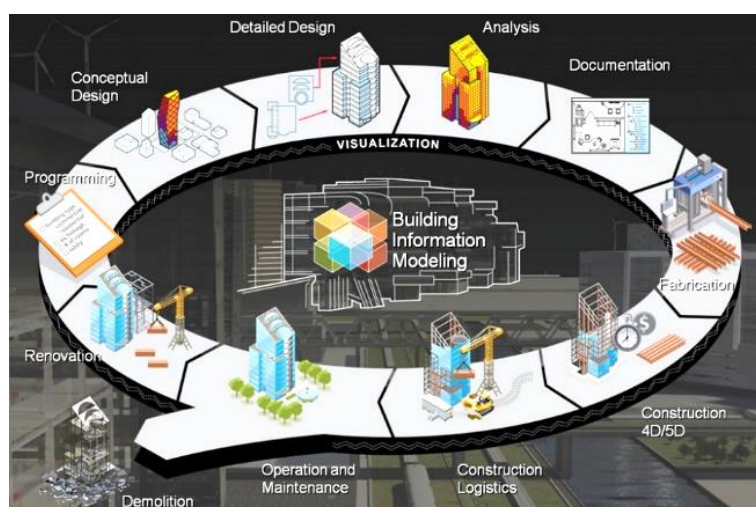


Fig. 2.3 – Ciclo de vida do BIM (Dispenza, 2010)

A metodologia BIM é um dos desenvolvimentos mais promissores na indústria AEC. Este suporta o projeto ao longo de todas as suas fases, permitindo uma melhor análise e controlo do que os processos manuais. Quando concluídos, os modelos gerados por computador contêm geometria precisa e dados para suportar a construção, fabricação e manutenção.

O BIM também acomoda muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de um edifício, fornecendo a base para novas capacidades de projeto e construção e mudanças nos papéis e relacionamentos entre a equipa de projeto. Quando bem adotado, o BIM facilita todo o processo de projeto e construção, promovendo maior integração entre as partes o que resulta em edifícios de melhor qualidade a menor custo e redução da duração do projeto (Eastman, 2011).

A metodologia BIM surge assim como resposta à necessidade crescente da indústria de AEC em se manter competitiva e eficiente, utilizando para tal a otimização das tecnologias existentes para evoluir.

Como referido anteriormente a metodologia BIM é aplicada a diferentes fases do ciclo de vida de um edifício, como tal esta metodologia comporta várias dimensões nD, nomeadamente 3D, 4D, 5D, 6D e 7D. Assim sendo, torna-se importante perceber em que consiste cada dimensão e em que fase é utilizada. Na Figura 2.4 encontra-se um resumo das dimensões do BIM e em que consiste cada uma.

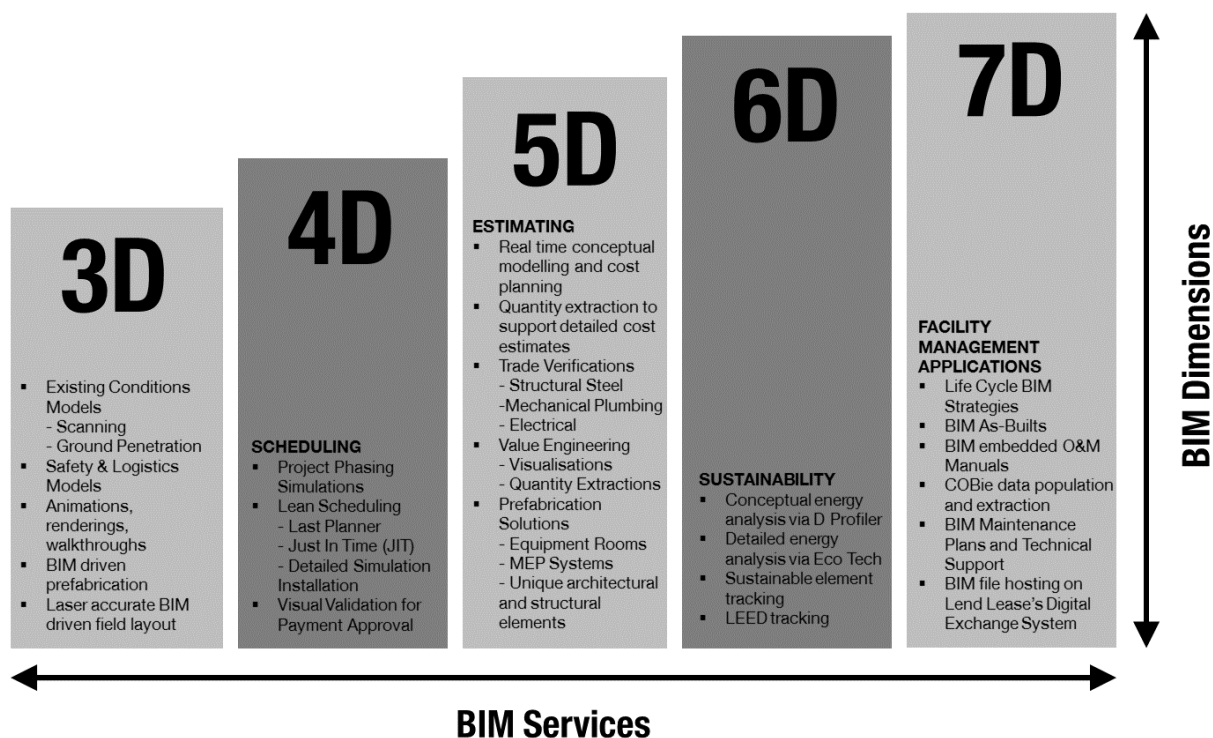


Fig. 2.4 – Dimensões do BIM⁴

⁴ <http://www.waldeckconsulting.com/services/bim-solutions/bim-dimensions-website-3/> (acedido em 21/02/2017)

2.2.1.1 3D – Modelo digital de conceção

Quando se fala em modelo 3D do BIM há que perceber este é diferente do 3D CAD tradicional. Os modelos tradicionais descrevem os elementos do projeto com vistas 3D independentes, como planos, seções e elevações. Se uma dessas vistas for modificada, as outras devem ser atualizadas em conformidade e de forma manual. Pelo contrário, o BIM integra semanticamente informações ricas relacionadas com todos os elementos que constituem os projetos, incluindo todas as propriedades geométricas e funcionais durante todo o ciclo de vida numa coleção de "objetos inteligentes", logo qualquer modificação no modelo é automaticamente corrigida em todas as peças do projeto (L. Ding, Zhou, & Akinci, 2014).

Usando os programas que estão sobre a alçada do BIM, é possível criar um modelo digital 3D, composto por arquitetura, topografia e especialidades, onde é possível visualizar e analisar os possíveis problemas espaciais e estruturais e ainda detetar automaticamente erros e colisões entre as diversas especialidades, fomentando uma correção mais rápida e sem perda de informação entre os vários *stakeholders* (arquitetos, engenheiros, empreiteiros e dono de obra) (Eastman, 2011).

2.2.1.2 4D – Planeamento

A dimensão 4D corresponde ao processo de planeamento e gestão do tempo. Adicionando ao modelo 3D o planeamento da construção torna-se possível simular o processo de construção e mostrar o edifício e a organização do estaleiro em qualquer momento do tempo de construção, obtendo-se assim a dimensão 4D. Esta simulação gráfica proporciona uma visão aprofundada da construção do edifício dia-após-dia, permitindo revelar potenciais problemas e oportunidades para possíveis melhorias a nível de estaleiro, equipas, equipamento, conflitos espaciais, problemas de segurança, entre outros. Este tipo de análise não se encontra disponível em documentos de papel, logo a metodologia BIM proporciona uma visão e acompanhamento mais adequado. Podendo ainda proporcionar mais benefícios nesta fase se o modelo incluir objetos temporários de construção, tais como escoramentos, andaimes, gruas e outros equipamentos, para que estes objetos possam ser vinculados a atividades programadas e refletidos no plano de construção (Eastman, 2011).

2.2.1.3 5D – Custos

Com base na dimensão 4D e associando a esta a componente económica, com gestão e controlo de custos surge a dimensão 5D. Nesta dimensão é possível associar o custo às várias atividades, obtendo o orçamento das atividades de todo o empreendimento. Esta ferramenta permite mais facilmente uma correção dos custos e orçamentos sempre que é feita uma alteração no projeto a nível de soluções construtivas, materiais, equipamentos, mão-de-obra entre outras, permitindo ainda comparar a nível de custos diferentes cenários e soluções (Eastman, 2011).

2.2.1.4 6D – Sustentabilidade

A dimensão 6D está associada à sustentabilidade através da construção de edifícios mais sustentáveis. Esta dimensão permite a análise de consumos energéticos e visa a sua redução através de escolhas de sistemas e materiais construtivos mais eficientes a nível energético (Eastman, 2011).

2.2.1.5 7D – Gestão de instalações

A sétima dimensão (7D) está relacionada com a gestão das instalações. Com toda a informação que foi registada e mantida ao longo do processo de construção, esta servirá de base ao processo de manutenção e gestão do edifício, permitindo a otimização da manutenção da edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida (Eastman, 2011).

2.2.2 *Software*

No mercado existe uma diversificada oferta a nível de *software* vocacionados para trabalhar a metodologia BIM, estando cada um deles afeto a diferentes dimensões desta metodologia.

Para o presente trabalho interessa utilizar *software* que permita trabalhar a nível da conceção do modelo (dimensão 3D) e ainda a nível do planeamento (dimensão 4D) no sentido de promover o planeamento da segurança.

Na escolha do *software* a utilizar na metodologia BIM para o planeamento da segurança há que ter em consideração alguns pré-requisitos, nomeadamente:

- **Modelação:** A segurança na construção não é apenas a gestão ou o controlo do comportamento de segurança dos trabalhadores. Envolve também a conceção, aquisição, instalação e remoção de equipamentos temporários e de segurança, tais como guarda-corpos, andaimes e redes de segurança ou linhas de vida. Tornando-se essencial projetar e modelar esses objetos temporários no BIM para fins de visualização e quantificação.
- **Planeamento e simulação:** Para detetar e prevenir riscos durante o processo de construção, os cronogramas do projeto precisam de ligação ao modelo de conceção, desta forma a aplicação é capaz de visualizar o progresso da construção de acordo com o cronograma, promovendo a consciencialização da segurança.
- **Modelação do layout do estaleiro e visualização:** A capacidade de modelar e visualizar o estaleiro pode ajudar na gestão logística, aumentando a produtividade e a segurança no local de trabalho.
- **Formato do modelo:** Uso do formato de dados IFC, pois permite uma maior compatibilidade na partilha de informação entre as várias ferramentas do BIM.
- **Rule-checking:** Uma plataforma BIM equipada com seu próprio mecanismo de regras pode fornecer aos usuários a oportunidade de auto-definir ou configurar regras de segurança para o processo de verificação de regras (Zhang et al., 2015a).

Na Tabela 2.5 é apresentada uma comparação entre alguns *software* disponíveis no mercado e a respetiva potencialidade para incorporar as questões de segurança.

Tabela 2.5 – Comparação das funcionalidades entre *software* (Zhang et al., 2015a)

Application	Functionality					
	Scheduling	Simulation	Modeling	Site layout modeling	IFC-based	Rule-checking
Autodesk Revit	-	-	✓	✓	-	-
Autodesk Navisworks	✓	✓	-	-	-	-
Solibri Model Checker (SMC)	-	-	-	-	✓	✓
Tekla Structures	✓	✓	✓	-	-	-

Perante os *software* apresentados optou-se por trabalhar com os da Autodesk, Revit para a modelação 3D e Navisworks para o planeamento 4D, pois como estes pertencem à mesma empresa a compatibilidade e comunicação entre eles é elevada. Outro fator para a escolha destes *software* está relacionado com a facilidade de obtenção de licenças de utilização para estudantes.

2.2.2.1 Autodesk Revit

O Revit é um dos *software* da Autodesk que foi especialmente desenvolvido para a metodologia BIM, este é composto por uma família de produtos que integra Revit Architecture, Revit Structure and Revit MEP (Mechanical, electrical, and plumbing services).⁵

Através deste *software* e das suas ferramentas é possível desenvolver modelos 3D parametrizados que permitem planear, projetar, construir e gerir edifícios e infraestruturas. Este suporta toda a informação necessária para um projeto mais colaborativo e comunicativo, pois permite que uma equipa multidisciplinar trabalhe no mesmo projeto e ao mesmo tempo, contribuindo para a diminuição de erros e de perda de informação. Também gera facilidade de comunicação com os donos de obra através dos seus modelos 3D de elevada pormenorização e resolução.⁶

Este difere da tecnologia CAD, pois trabalha com objetos parametrizados, cada elemento (portas, janelas, pilares, lajes...) contem informação, não sendo somente um conjunto de desenhos formados por linhas e volumes como no caso do CAD. Devido à inteligência deste software qualquer alteração efetuada é automaticamente corrigida em todo o modelo (Eastman, 2011).

No processo de criação de um projeto em Revit, são adicionados variados elementos paramétricos, estando estes classificados por categorias, famílias e tipos, tal como vem explicitado na Figura 2.5.

⁵ <http://www.autodesk.com/education/free-software/revit> (acedido em 06/03/2017)

⁶ <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview> (acedido em 06/03/2017)

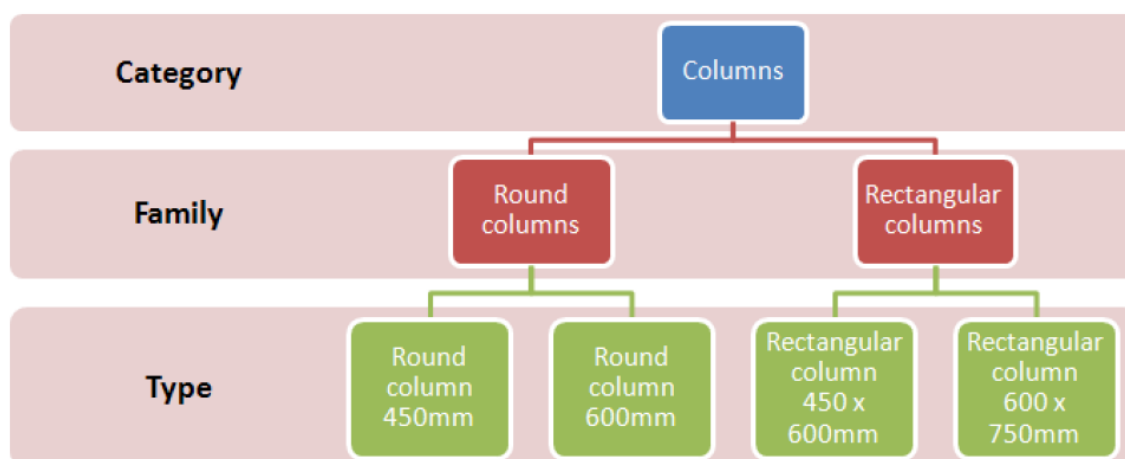


Fig. 2.5 – Elementos paramétricos – Revit (Autodesk, 2011)

- **Categoria** – Uma categoria é um grupo de elementos que se usa para modelar ou documentar o projeto. As categorias de elementos incluem paredes, vigas, pilares, janelas, portas, equipamentos especiais, vedações, mobília, tubos etc. Categorias de elementos de anotações incluem *tags* e notas de texto;
- **Família** – As famílias são classes de elementos de uma categoria. Uma família agrupa elementos com um conjunto comum de parâmetros (propriedades), uso idêntico e representação gráfica semelhante. Diferentes elementos numa família podem ter valores diferentes para algumas ou todas as propriedades, mas o conjunto de propriedades (nome e significado) é o mesmo;
- **Tipo** – Cada família pode ter vários tipos. O tipo pode ser por exemplo um tamanho específico de uma família, como por exemplo 30 x 40 (Autodesk, 2011).

O Revit é ainda um *software* que tem em consideração a necessidade de interoperabilidade entre programas. Logo, não só é compatível com os *software* da família Autodesk como também suporta formatos de outras empresas de *software*, desde que estejam em formatos IFC, DWG e DNG.⁷

2.2.2.2 Autodesk Navisworks Manage

O Navisworks Manage é um *software* de análise, coordenação e de compatibilização dos vários projetos. Este ajuda a analisar holisticamente os modelos 3D, de forma a identificar incompatibilidades entre os projetos de especialidades e arquitetura, permitindo aos vários *stakeholders* um maior controlo sobre os resultados obtidos na adoção de diferentes soluções. Esta é uma ferramenta de integração, análise e comunicação, ajudando as equipas a coordenar, a resolver conflitos e a planear os projetos antes do início da construção.⁸

Além da vertente de revisão de projeto este *software* também permite interligar os modelos 3D ao respetivo cronograma, obtendo desta forma uma simulação 4D.

⁷ <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview> (acedido em 06/03/2017)

⁸ <http://www.autodesk.com/education/free-software/navisworks-manage> (acedido em 06/03/2017)

Para a obtenção da simulação em 4D, a componente tempo que permite o acompanhamento e a evolução da obra pode ser elaborada das seguintes formas:

- Diretamente no *TimeLiner* do Navisworks, de forma manual, em que se adicionada uma tarefa de cada vez;
- Diretamente no *TimeLiner* do Navisworks, de forma automática, tendo por base a estrutura da *Selection Tree* ou por base a estrutura dos *Sets*;
- Importada de programas específicos para esta tarefa como o Microsoft Excel, MS Project ou Primavera (Autodesk, 2012).

Com a criação de um modelo 4D, onde se apresenta todo o cronograma da obra e onde é possível observar todas as fases e a logística necessária ao longo do tempo, torna-se possível um melhor acompanhamento e controlo, evitando atrasos na execução, perdas de material e de custos associados a mão-de-obra parada.⁹

2.2.3 Prevenção de riscos na construção

2.2.3.1 Princípios gerais de prevenção

Segundo o Código do Trabalho artigo 281.º, ponto 1: Todos os trabalhadores têm direito a prestar trabalho em condições de segurança e saúde; Ponto 2: O empregador deve assegurar aos trabalhadores condições de segurança e saúde em todos os aspetos relacionados com o trabalho, aplicando as medidas necessárias tendo em conta princípios gerais de prevenção (*Lei n.º 7/2009, de 12 de Fevereiro, Código do Trabalho*, 2009).

De acordo com o regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no trabalho, Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro (alterada pela Lei n.º 28/2016, de 23 de agosto), as obrigações do empregador relativamente ao zelo pelo exercício de uma atividade em condições de segurança e saúde deve seguir os seguintes princípios de gerais de prevenção:

- Evitar os riscos;
- Planificar a prevenção como um sistema coerente que integre a evolução técnica, a organização do trabalho, as condições de trabalho e a influência dos fatores ambientais;
- Identificação dos riscos previsíveis em todas as atividades, com vista à eliminação dos mesmos ou, quando não é viável, reduzir os seus efeitos;
- Integração da avaliação dos riscos para a segurança e saúde do trabalhador no conjunto das atividades, devendo adotar as medidas adequadas de proteção;
- Combate aos riscos na origem, por forma a eliminar ou reduzir a exposição e aumentar os níveis de proteção;
- Assegurar que as exposições aos agentes químicos, físicos e biológicos e aos fatores de risco psicossociais não constituem risco para a segurança e saúde do trabalhador;
- Adaptação do trabalho ao homem com o intuito de atenuar o trabalho monótono e o trabalho repetitivo e reduzir os riscos psicossociais;

⁹ <https://www.cadac.com/media/1207/autodesk-navisworks-2014-brochure.pdf> (acedido em 06/03/2017)

- Adaptação ao estado de evolução da técnica, bem como a novas formas de organização do trabalho;
- Substituição do que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;
- Priorização das medidas de proteção coletiva em relação às medidas de proteção individual;
- Elaboração e divulgação de instruções compreensíveis e adequadas à atividade desenvolvida pelo trabalhador.

2.2.3.2 Fatores de perigosidade do setor

Ao longo deste trabalho tem-se feito referência à perigosidade existente na indústria da construção e a própria legislação quando enumera trabalhos de risco elevado, refere os trabalhos em obras de construção, escavação, movimentação de terras, de túneis, com riscos de quedas de altura ou de soterramento, demolições e intervenção em ferrovias e rodovias sem interrupção de tráfego (*Lei n.º 102/2009, Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho*, 2009).

É perentória a perigosidade desta indústria e como tal é fundamental perceber os fatores que tornam o setor perigoso e que levam à consequente ocorrência de acidentes de trabalho. Seguidamente salientam-se alguns fatores que contribuem para este fenómeno:

- O ambiente de trabalho: A inexistência de postos de trabalho fixos e a constante mutação do estaleiro fazem com que os trabalhadores fiquem sujeitos a vários riscos, não sendo sempre possível prever os mesmos. Esta situação também aumenta a dificuldade de utilização de equipamentos de proteção individual, pois a constante necessidade de mudança entre equipamentos, devido às diversificadas tarefas e o fato de nem sempre serem ergonómicos, contribui para a resistência à sua utilização. Outra situação está relacionada com a grande mobilidade do trabalhador dentro do estaleiro acabando este por ficar sujeito a riscos gerados por outras atividades em curso;
- As atividades desenvolvidas: A maioria das atividades desenvolvidas são de cariz perigoso, pois desenvolvem-se muitas atividades em altura e com materiais e equipamentos pesados, podendo dar origem a quedas em altura e esmagamentos. Muitas vezes as atividades envolvem a utilização de produtos tóxicos e cancerígenos, podendo levar a doenças profissionais;
- A mão-de-obra: O fator humano também tem o seu impacto nos níveis de sinistralidade, pois comportamentos mais arriscados e a falta de perceção sobre os riscos a que estão sujeitos levam a tomadas de decisões pouco seguras. A existência de um pensamento baseado na masculinidade em que um homem não deve recusar trabalhos perigosos e que a utilização de EPI's é considerada dispensável, leva a que estes estejam expostos a riscos que seriam possíveis de controlar com mudanças de atitude;
- Os equipamentos: Neste setor utilizam-se frequentemente equipamentos pesados (gruas, equipamento de escavação e movimentação de terras) na proximidade dos operários, podendo dar origem a esmagamentos e atropelamentos. A capacidade de movimentação destes equipamentos e a falta de sinalização e da definição das vias de circulação, aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes dentro do estaleiro. Outro aspeto relacionado com os equipamentos é a adulteração destes, retirando as proteções de segurança ou utilizando equipamentos que não são adequados às tarefas (Pereira, 2013).

2.2.3.3 Identificação de perigos e riscos

A segurança e saúde do trabalho (SST) estuda e promove as condições de trabalho ajustadas ao exercício da atividade dos trabalhadores, em sintonia com os objetivos económicos (produtividade e organização do trabalho) e simultaneamente com objetivos sociais (saúde, bem-estar, motivação). Na sequência da implementação da segurança num local de trabalho há que compreender certos conceitos, para tornar possível a implementação de procedimentos que tornem possível a construção de um local de trabalho seguro.

A OHSAS 18001:2007 (transposta para a NP 4397:2008), define conceitos cuja correta compreensão é de elevada relevância para a SST, nomeadamente:

- Perigo: fonte, situação ou ato com potencial para o dano em termos de lesões, ferimentos ou danos para a saúde;
- Risco: combinação da probabilidade da ocorrência de um acontecimento perigoso ou exposição(ões) e da gravidade das lesões, ferimentos ou danos para a saúde, que pode ser causada pelo acontecimento ou pela(s) exposição(ões);
- Risco aceitável: risco que foi reduzido a um nível que possa ser tolerado pela organização, tomando em atenção as suas obrigações legais;
- Identificação do perigo: processo de reconhecer a existência de um perigo e de definir as suas características;
- Avaliação do risco: processo de avaliação do(s) risco(s), resultante(s) de um perigo(s) tendo em consideração a adequação de quaisquer controlos já existentes e de decisão sobre se o risco é aceitável ou não aceitável.

Tendo em conta a necessidade de atualização da OHSAS 18001:2007, no sentido de melhorar a segurança, diminuindo os números de acidentes de trabalho e ainda com o intuito de facilitar a implementação da higiene e segurança com os sistemas integrados de gestão (ISO 9001, ISO 14001 e ISO 26001), foi desenvolvida a ISO 45001:2016. Esta substituirá a OHSAS 18001:2007 e será nova norma internacional dos sistemas de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional, tendo as empresas 3 anos para procederem à transição a partir da sua data de publicação.¹⁰

No setor da construção os trabalhos desenvolvidos são bastante diversificados e segundo a Diretiva de estaleiros temporários ou móveis (Diretiva nº 92/57/CEE) as atividades que engloba correspondem a escavação, terraplanagem, construção, montagem e desmontagem de elementos pré-fabricados, adaptação ou equipamento, transformação, renovação, reparação, desmantelamento, demolição, manutenção, conservação, trabalhos de pintura e limpeza e saneamento.

Verifica-se que para estabelecer a identificação dos perigos/riscos é necessário conhecer muito bem a atividade a desenvolver, pois os riscos serão muito variados de acordo com os trabalhos em causa.

De uma forma geral pode-se afirmar que um trabalhador da indústria da construção está sujeito a variados riscos profissionais, estando estes divididos em 5 categorias principais, nomeadamente, riscos físicos, químicos, biológicos, ergonómicos e psicossociais. Na Tabela 2.6 dão-se alguns

¹⁰ <https://www.bsigroup.com/LocalFiles/pt-BR/Whitepapers/Guia%20DIS%20ISO%2045001.pdf>

exemplos dos riscos associados a cada categoria. Estes riscos podem produzir na saúde efeitos imediatos ou desfasados no tempo, estando condicionados pelas suas características intrínsecas e da intensidade e frequência de exposição. Como tal, existe legislação que regula os níveis de exposição aos diferentes tipos de risco.

Tabela 2.6 – Tipos de riscos profissionais (adaptado Sadhra & Rampal, 1999)

Risco	Exemplo
Químico	Poeiras, fibras, fumos, neblinas, aerossóis, gases, vapores.
Físico	Ruído; vibrações, radiações ionizantes e não ionizantes, ambiente térmico, iluminação, eletricidade e pressões anormais.
Biológico	Vírus, bactérias, fungos, protozoários.
Ergonómico e mecânico	Esforço excessivo, trabalho estático, posturas desadequadas, impacto, contato, entalamento.
Psicossocial	Condições e exigências do posto de trabalho, ritmos de trabalho, organização do posto de trabalho e relações profissionais

Após a leitura de variada bibliografia¹¹ (Cardoso, 2009) (Assunção, 2011) (Pinto, 2013) foi possível sintetizar os principais riscos detetados nos trabalhos da indústria da construção, sendo estes apresentados na Tabela 2.7 e 2.8.

Tabela 2.7 – Identificação de riscos na indústria da construção

Risco	Descrição
Queda em altura	Queda entre duas cotas significativamente afastadas. Em geral produz acidentes graves ou mortais.
Queda de nível	Queda num pavimento à mesma cota ou com pequenas diferenças. É, em geral, provocado por má arrumação do local de trabalho ou passagem por elementos não sinalizados.
Queda de objetos	Queda de cargas, pedras, entulho, tábuas, entre outros.
Exposição ao calor/frio	Os trabalhadores estão sujeitos às variações meteorológicas, pois muitos dos trabalhos são desenvolvidos no exterior, logo não há controlo do ambiente térmico.
Exposição a vibrações	Exposição provocada por ferramentas/equipamentos e veículos utilizados. Vibrações transmitidas ao corpo inteiro: são as vibrações mecânicas transmitidas ao corpo inteiro que implicam riscos para a saúde e segurança dos trabalhadores, em especial lombalgias e traumatismos da coluna vertebral. Vibrações transmitidas ao sistema mão-braço: são as vibrações mecânicas transmitidas ao sistema mão-braço que implicam riscos para a saúde e segurança dos trabalhadores, em especial perturbações vasculares, neurológicas ou musculares ou lesões osteoarticulares.
Exposição a ruído	Exposição provocada por ferramentas/equipamentos e detonações. O ruído é um som desagradável, contínuo ou de impacto. Quando em excesso pode provocar a surdez profissional.
Choque/pancada contra objetos imóveis/móveis	Provocados essencialmente por desorganização, falta de limpeza de estaleiro e falta de sinalização.
Entalamento	Possibilidade de entalção de membros.
Projeção de fragmentos/partículas	Alguns trabalhos provocam a projeção de fragmentos e partículas. Como por exemplo o corte de revestimentos cerâmicos, o corte de tijolos, o corte de armaduras e etc.
Atropelamento	O trabalhador é atropelado por veículo em movimento.
Capotamento	Dá-se o capotamento do equipamento, nomeadamente escavadoras, giratórias, retroescavadoras, etc.
Colisão de veículos	Consideram-se as colisões em trajeto de casa para o estaleiro e em sentido inverso, as colisões no trajeto entre obras e os ocorridos no interior dos estaleiros.
Soterramento	Risco que ocorre em trabalhos de escavação, podendo ficar debaixo das terras que se desprendem ou que deslizam, podendo provocar a morte por asfixia ou por traumatismo.
Esmagamento	O trabalhador é esmagado pela circulação de equipamentos.
Elettrização e/ou eletrocussão	Ocorre devido a contato com a corrente elétrica, sendo os efeitos mais frequentes a tetanização, paragem respiratória, fibrilação ventricular e queimaduras. Em caso de acidentes graves diz-se que o trabalhador sofreu uma eletrização, no caso de resultar em morte diz-se que o trabalhador sofreu uma eletrocussão.
Explosão	Ocorre devido a detonação de substâncias explosivas ou da formação de atmosferas explosivas.

¹¹ <https://osha.europa.eu/pt/tools-and-publications/publications/factsheets/48> (acedido em 15/03/2017)

Tabela 2.8 – Identificação de riscos na indústria da construção (continuação)

Risco	Descrição
Exposição a agentes químicos	Contato com substâncias perigosas com valores limite de exposição que são necessários respeitar, caso contrário geram afeções à saúde.
Corte	O trabalhador sofre cortes com ferramentas mecânicas, designadamente rebarbadoras ou outras.

2.2.3.4 Metodologia BIM na prevenção de riscos

O crescente desenvolvimento da metodologia BIM tem levado a várias investigações que visam explorar a adoção das ferramentas BIM, para aumentar o nível de prevenção de riscos no setor da construção e diminuir o número de acidentes (Soeiro & Martins, 2016).

A utilização desta metodologia através da concentração, partilha e gestão da informação, permite outros níveis de apreciação de medidas de prevenção que não eram conseguidos anteriormente nos desenhos em 2D e na informação em suporte de papel.

Geralmente na abordagem tradicional o planeamento da segurança é feito separadamente do projeto, deixando de parte muitos dos *stakeholders* como empreiteiros e coordenadores de segurança, que possuem conhecimentos válidos e experiência nas matérias de segurança. Esta separação de planeamentos leva a que na maioria das situações as questões de segurança sejam tratadas somente no estaleiro, ficando o empreiteiro com a responsabilidade de gerir a segurança no local. Nesta abordagem também se constata que o planeamento da segurança é feito manualmente por observação de desenhos em 2D, revelando-se um processo demorado e altamente ineficiente (Zhang, Teizer, Lee, Eastman, & Venugopal, 2013).

Assim sendo, a metodologia BIM surge como o meio para colmatar as lacunas existentes na metodologia tradicional, reforçando as potencialidades existentes no aumento da segurança quando pensada desde a fase do projeto, tornando o processo de implementação de segurança mais fácil para os projetistas. Com as ferramentas disponíveis torna-se a comunicação e a participação entre *stakeholders* mais acessível e espontânea.

Relativamente à metodologia BIM os avanços verificados na prevenção e aumento da segurança, envolvem os seguintes aspetos:

- Prevenção na fase de projeto (PTD - *Prevention Through Design*);
- Simulação de fases da construção para análise de riscos;
- Elaboração de contratos com garantias de níveis de prevenção;
- Utilização de dispositivos móveis durante a execução da obra;
- Uso de localizadores para controlo de operações;
- Análise de medidas de prevenção durante as fases de operação e de manutenção (Soeiro & Martins, 2016).

Para o presente trabalho as fases de interesse correspondem à prevenção na fase de projeto e de planeamento, pois a segurança deve ser um processo contínuo e como tal, certas situações podem e devem ser identificadas na fase de projeto e depois melhoradas na fase de planeamento.

Decisões tomadas na fase de projeto vão condicionar grandemente o planeamento e as futuras decisões nas fases seguintes. Daí a tentativa de demonstrar e chamar a atenção para a importância da ligação entre fases e a tomada de decisões nas fases iniciais.

A nível de PTD (*Prevention Through Design*) a tecnologia mais avançada consiste na aplicação das regras de segurança através de processos de decisão apoiados por ferramentas de inteligência artificial, em que os algoritmos analisam os modelos produzidos pelas ferramentas BIM e tentam encontrar riscos e propor medidas preventivas.

Na fase de planeamento a utilização de modelos em 4D permite detetar situações de perigo, como por exemplo aberturas sem proteção ou escadas sem guardas, sendo ainda possível utilizar estes modelos para simular escavações e aterros e identificar cenários propícios a acidentes. Outra potencialidade reside na utilização destes ambientes de realidade virtual para formação de trabalhadores e técnicos, sem os expor a situações reais de perigo.

O uso dos modelos de planeamento (4D) permitem que em obra seja possível visualizar as medidas de segurança para cada frente de trabalho e a confrontação com o executado permite aos responsáveis da obra encontrar não-conformidades em tempo real, possibilitando uma atuação mais eficaz sobre as mesmas (Soeiro & Martins, 2016).

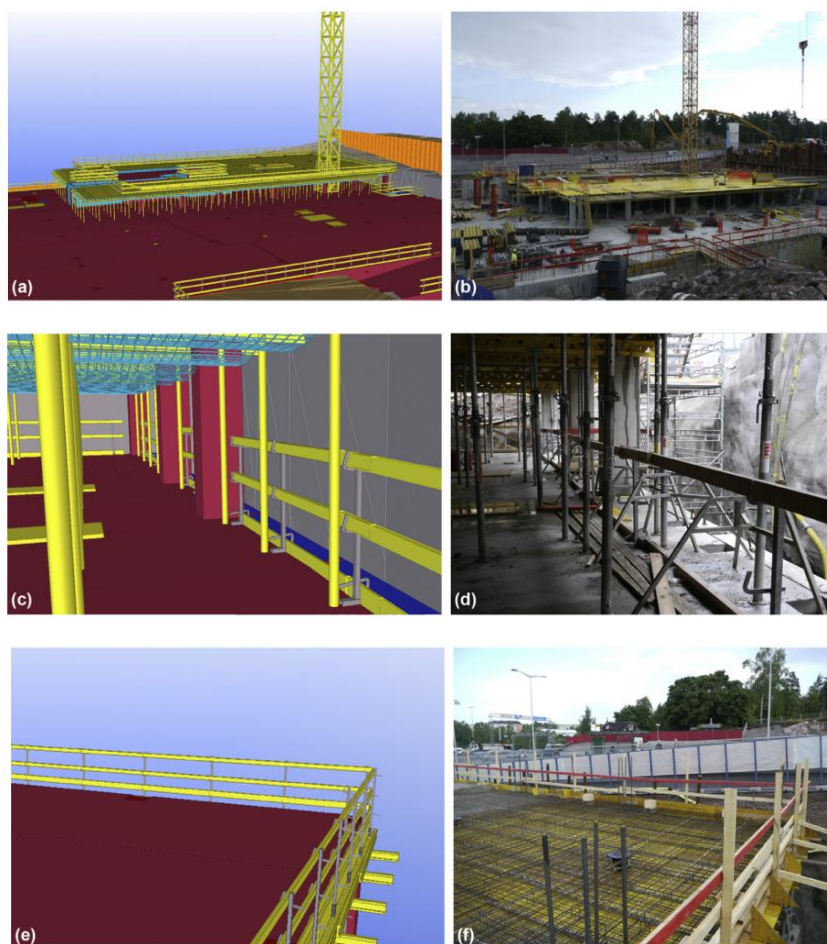


Fig. 2.6 – Comparação do modelo de planeamento de obra com a realidade: a, b) Vista geral do estaleiro; c, d) Vista de um bordo de laje; e, f) Trabalhos numa laje (Zhang et al., 2015a).

2.2.4 Intervenientes no processo de segurança

Ao longo do desenvolvimento de um projeto são vários os intervenientes que participam no planeamento e na organização da segurança. Contudo, de acordo com a complexidade e com os riscos associados, o empreendimento vai exigir a participação de mais ou menos intervenientes ao longo do seu desenvolvimento.

Nas situações mais correntes, em que os projetos têm complexidade e geram riscos especiais os intervenientes no processo de segurança são os seguintes:

- **Dono da obra:** Pessoa singular ou coletiva por conta de quem a obra é realizada, ou o concessionário relativamente à obra executada com base em contrato de concessão de obra pública. Este deve nomear um coordenador de segurança em projeto, se o projeto da obra for elaborado por mais de um sujeito, desde que as suas opções arquitetónicas e escolhas técnicas impliquem complexidade técnica para a integração dos princípios gerais de prevenção de riscos profissionais ou os trabalhos a executar envolvam riscos especiais. Deve nomear um coordenador de segurança em obra, se na obra intervirem duas ou mais empresas, incluindo a entidade executante e subempreiteiros. O dono da obra deve ainda elaborar ou mandar elaborar, durante a fase do projeto, o plano de segurança e saúde para garantir a segurança e a saúde de todos os intervenientes no estaleiro.
- **Autor do projeto:** Pessoa singular, reconhecida como projetista, que elabora ou participa na elaboração dos projetos da obra. Evidentemente outro elemento importante é o autor do projeto de arquitetura. Toda esta equipa deve ter em conta os princípios gerais de prevenção, devendo ponderar sobre as opções arquitetónicas, as escolhas técnicas e métodos construtivos adotados. Porque as soluções adotadas contribuem para existência de riscos que quando tidas em consideração podem ser prevenidos através da escolha de soluções de *design*/projeto diferentes.
- **Coordenador de segurança em projeto:** Pessoa singular ou coletiva que executa, durante a elaboração do projeto, as tarefas de coordenação em matéria de segurança e saúde, podendo também participar na preparação do processo de negociação da empreitada e de outros atos preparatórios da execução da obra, na parte respeitante à segurança e saúde no trabalho. Este deve assegurar que os projetistas têm em consideração os princípios gerais de prevenção. Deve auxiliar o dono de obra no processo preparatório da execução da obra a nível de segurança e saúde no trabalho. Deve elaborar o plano de segurança e saúde em projeto. Caso este seja elaborado por outrem (nomeado pelo dono de obra) o coordenador de segurança deve proceder à validação técnica do mesmo;
- **Coordenador de segurança em obra:** Pessoa singular ou coletiva que executa, durante a realização da obra, as tarefas de coordenação em matéria de segurança e saúde. Este tem como deveres apoiar o dono de obra na comunicação prévia de abertura de estaleiro feita à ACT. Deve apreciar o desenvolvimento e as alterações do PSS para a execução da obra e propor as alterações que achar necessárias a nível de PSS e de fichas de procedimento. Deve promover e verificar o cumprimento do PSS, entre outras atividades referidas na legislação.
- **Empregador:** Pessoa singular ou coletiva que, no estaleiro, tem trabalhadores ao seu serviço, incluindo trabalhadores temporários ou em cedência ocasional, para executar a totalidade ou parte da obra; pode ser o dono da obra, a entidade executante ou subempreiteiro. Os empregadores têm a obrigação de fazer cumprir as obrigações gerias previstas no regime aplicável em matéria de segurança, higiene e saúde no trabalho. Devendo ainda ter em consideração alguns aspetos especiais, como por exemplo: deve comunicar aos trabalhadores independentes o PSS e as fichas de procedimento de

segurança; deve manter o estaleiro em ordem; cumprir as indicações do coordenador de segurança em obra e da entidade executante, entre outras.

- Entidade executante: Pessoa singular ou coletiva que executa a totalidade ou parte da obra, de acordo com o projeto aprovado e as disposições legais ou regulamentares aplicáveis. Pode ser simultaneamente o dono da obra, ou outra pessoa autorizada a exercer a atividade de empreiteiro de obras públicas ou de industrial de construção civil, que esteja obrigada mediante contrato de empreitada com aquele a executar a totalidade ou parte da obra. Algumas das obrigações da entidade executante passa pela avaliação de riscos da obra e definição das medidas de prevenção adequadas, este deve dar a conhecer o PSS a subempreiteiros e trabalhadores independentes; deve assegurar a aplicação do PSS e das fichas de procedimento de segurança por parte dos seus trabalhadores, subempreiteiros e trabalhadores independentes; deve colaborar com o coordenador de segurança em obra, fazendo respeitar por parte dos subempreiteiros e trabalhadores independentes as diretivas do coordenador; deve tomar as medidas necessárias para a organização e gestão do estaleiro, incluindo organização do sistema de emergência.
- Trabalhador: Pessoa singular que mediante retribuição, se obriga a prestar serviço a um empregador. Estes são obrigados a respeitar os princípios que visam promover a segurança e a saúde, devendo cooperar na aplicação das disposições estabelecidas para o estaleiro, respeitando as indicações do coordenador de segurança em obra.
- Fiscal da obra: Pessoa singular ou coletiva que exerce, por conta do dono da obra, a fiscalização da execução da obra, de acordo com o projeto aprovado, bem como do cumprimento das disposições legais e regulamentares aplicáveis. Se a fiscalização for assegurada por dois ou mais representantes, o dono da obra designará um deles para chefiar (*Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, 2003*).
- Diretor de obra: Técnico habilitado a quem incumbe assegurar a execução da obra, cumprindo o projeto de execução e quando aplicável, as condições da licença ou comunicação prévia, bem como o cumprimento das normas legais e regulamentares em vigor. Além de todas as obrigações inerentes a esta função a legislação especifica a nível da segurança que este deve adotar os métodos de produção adequados, de forma a assegurar o cumprimento dos deveres legais a que está obrigado, a qualidade da obra executada e a segurança e a eficiência no processo de construção (*Lei n.º 31/2009, de 3 de Julho, Qualificação profissional dos responsáveis por projectos e pela fiscalização e direcção de obra, 2009*).

No caso de obras de menor complexidade e em que os riscos são reduzidos não há a obrigatoriedade de contratar um coordenador de segurança em obra, não sendo também necessário elaborar o plano de segurança e saúde. Contudo se forem desenvolvidos trabalhos de riscos especiais, a entidade deve dispor de fichas de procedimento de segurança que indiquem medidas de prevenção para a execução desses trabalhos (*Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, 2003*).

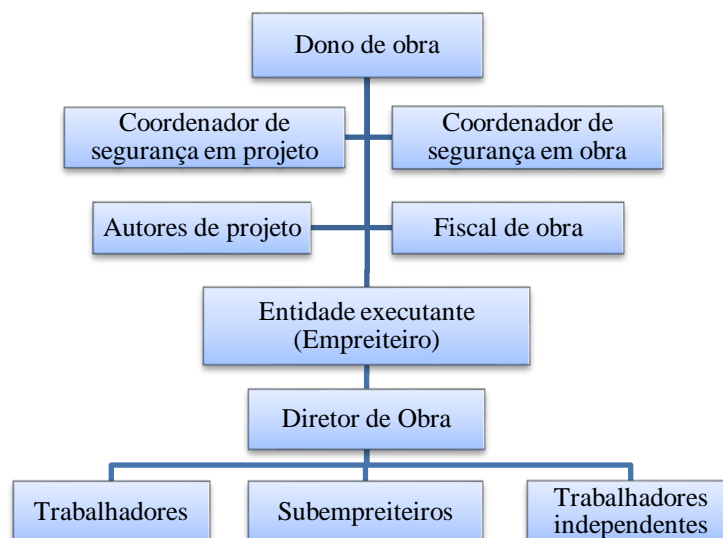


Fig. 2.7 – Exemplo de organograma dos intervenientes no processo de segurança

2.3 Enquadramento Legal e Normativo

No que concerne a matéria de segurança e à sua implementação, há dois princípios básicos que devem ser tidos em conta, o primeiro consiste no adequado conhecimento e análise da atividade na qual se quer intervir e o segundo consiste em fazer cumprir a legislação do respetivo setor de atividade, estes devem ser os pontos de partida para a implementação da segurança.

No setor da construção a legislação de segurança e saúde que lhe está associada é a seguinte (esta encontra-se disponíveis no site da ACT):

- Lei nº 102/2009, de 10 de setembro - Regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no Trabalho - (Regulamenta o Regime jurídico da promoção e prevenção da segurança e saúde no trabalho, de acordo com o previsto no art.º 284º da Lei n.º 7/2009, de 12 de fevereiro);
- Decreto nº 41821/1958, de 11 de agosto - Regulamento de segurança no trabalho da construção civil;
- Decreto nº 46427/1965, de 10 de julho - Regulamento de instalações provisórias destinadas a pessoal empregado nas obras;
- Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de outubro – Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis – (Estabelece regras gerais de planeamento, organização e coordenação para promover a segurança, higiene e saúde no trabalho em estaleiros da construção e transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 92/57/CEE, do Conselho, de 24 de junho, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde no trabalho a aplicar em estaleiros temporários ou móveis);
- Portaria nº 934/1991 de 13 de setembro - Estabelece as normas das estruturas de proteção contra a queda de objetos (FOPS) de máquinas de estaleiros de construção civil;
- Portaria nº 101/1996, de 3 de abril - Prescrições mínimas de segurança e de saúde nos locais e postos de trabalho dos estaleiros temporários ou móveis;
- Portaria nº 988/93, de 6 de outubro - Prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamento de proteção individual;

- Decreto-Lei nº 50/2005, de 25 de fevereiro - Prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de trabalho.

2.4 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação pretende demonstrar as potencialidades da metodologia BIM na implementação de medidas de segurança na fase de planeamento da obra e consequente utilização desta informação na fase de gestão da obra. Visando, averiguar se esta metodologia facilita o trabalho do coordenador de segurança a nível da implementação/controlo da segurança no estaleiro, e as possíveis vantagens da utilização de modelos 3D e 4D face às tecnologias 2D atualmente utilizadas (desenhos 2D em AutoCad e fichas de segurança/procedimentos).

Como tal, o principal objetivo deste trabalho consiste em analisar as potencialidades do *software* Navisworks no acompanhamento da implementação das medidas de segurança necessárias ao longo da execução da obra.

No sentido de alcançar o objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os perigos/riscos associados à construção de um edifício destinado a comércio/serviços;
- Implementar medidas de prevenção de segurança ao edifício em estudo, através de modelo 3D, composto por modelo de estrutura e de arquitetura, utilizando o *software* Revit;
- Quantificar os elementos necessários para a implementação da segurança (mapas de quantidades);
- Desenvolver um modelo 4D através do *software* Navisworks de forma a conseguir acompanhar e visualizar as medidas de segurança ao longo da execução da obra;
- Criar comentários e *links* no Navisworks sobre os cuidados de segurança a ter em consideração no momento de montagem/desmontagem de estruturas provisórias;
- Analisar as facilidades/dificuldades associadas à utilização do Navisworks na gestão e implementação da segurança ao longo da obra;
- Verificar as vantagens/desvantagens da utilização do Navisworks como ferramenta adequada para o controlo e implementação da segurança em obra.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

Para alcançar os objetivos deste trabalho foi definida a metodologia apresentada na Figura 3.1.

Começando por fazer um breve resumo da componente metodológica do trabalho já desenvolvido, o trabalho teve início com a definição da questão de investigação, a partir da qual foi realizada uma revisão sistemática. Através dos resultados desta primeira fase foi possível a aquisição de conhecimentos sobre a metodologia BIM. Seguidamente procedeu-se à síntese das tecnologias existentes na metodologia BIM a nível da prevenção de riscos e implementação da segurança na fase de projeto e planeamento.

Posteriormente foram descritos vários conceitos técnicos com o intuito de tornar perceptível o caminho traçado para esta dissertação. Fornecendo as bases para a compreensão dos objetivos e do caso de estudo onde se colocou em prática os conhecimentos adquiridos.

Através do desenvolvimento do caso de estudo, baseado num edifício de prestação de serviços na área da Radioterapia, pretendeu-se demonstrar as potencialidades da metodologia BIM a nível da implementação de segurança na fase de planeamento, evidenciando as vantagens de utilização de *software* como o Revit e o Navisworks na obtenção de um estaleiro mais seguro. Para tal introduziram-se algumas medidas de prevenção com o intuito de evitar os riscos mais frequentes no setor da construção em algumas fases da obra. Utilizando estruturas provisórias como guarda-corpos e andaimes e outras medidas como vedação de estaleiro, definição de caminhos de circulação e utilização de tampos em aberturas.

Por fim, seguiu-se a análise dos resultados obtidos a nível dos modelos desenvolvidos, apresentando-se posteriormente as conclusões e perspetivas futuras.

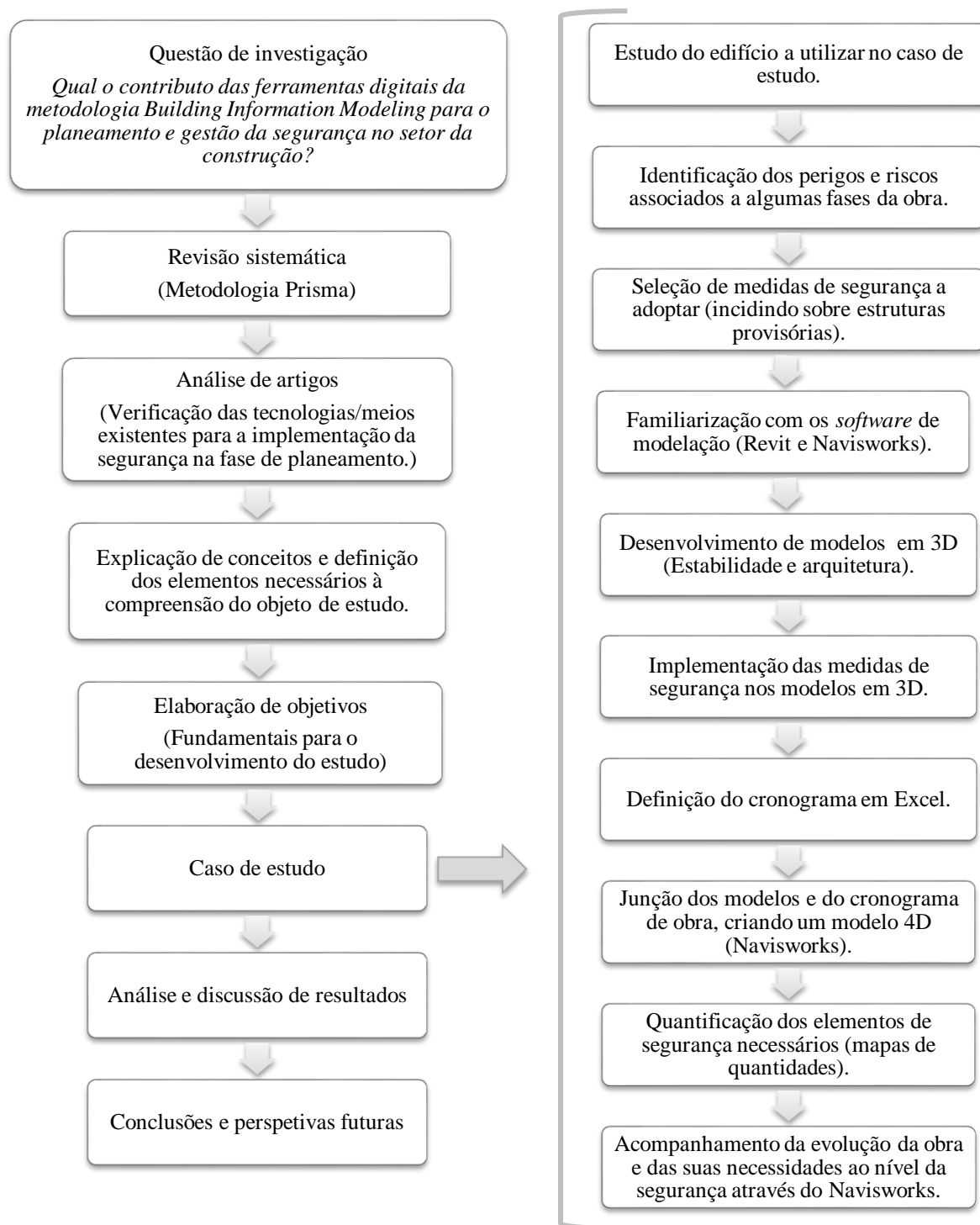


Fig. 3.1 – Metodologia adotada para o desenvolvimento da dissertação

3.2 Caso de estudo

3.2.1 Enquadramento

Tal como foi explicitado anteriormente na metodologia, o presente caso de estudo surge como o meio escolhido para alcançar os objetivos traçados. Pretende-se fundamentalmente demonstrar

como é que através de tecnologias digitais, que utilizam a metodologia BIM, é possível implementar a segurança na fase de planeamento, promovendo a gestão da segurança na fase de execução da obra.

Numa primeira fase procede-se à análise do edifício em estudo, sendo imprescindível a sua compreensão, pois as soluções de projeto adotadas condicionam as soluções de segurança. Seguidamente e tendo em conta as fases de construção necessárias para a execução da presente obra, desenvolveram-se algumas fichas referentes aos trabalhos a executar e os cuidados a ter a nível da segurança. Estas fichas são de elevada importância, porque para atuar sobre um perigo e diminuir o risco é fundamental perceber os trabalhos que estão relacionados com a tarefa, tornando-se assim possível implementar as medidas de prevenção adequadas.

Seguidamente e tendo por base os projetos de arquitetura e de estabilidade fornecidos em 2D (AutoCad) elaboraram-se os respetivos modelos em Revit, passando assim a informação para dois modelos em 3D. A estes modelos aplicaram-se medidas de segurança, realçando a utilização das estruturas provisórias.

Concluídos os dois modelos em 3D (arquitetura e estabilidade), procedeu-se à junção dos mesmos no Navisworks para obter um modelo composto (Composite Model).

No Navisworks elaborou-se o modelo 4D, adicionando-lhe a componente temporal através do cronograma de atividades elaborado no Microsoft Excel. Através do modelo em 4D torna-se possível acompanhar todas as exigências da obra a nível de segurança e de execução dos trabalhos.

3.2.2 Edifício em estudo

O presente caso de estudo incidiu sobre um edifício destinado à prestação de serviços na área da Radioterapia. A unidade de Radioterapia situa-se na freguesia de São Martinho, concelho do Funchal, na Ilha da Madeira, tendo sido projetada pela empresa CSPTD - arquitetura e comunicação, Lda e pela empresa Imoplano, Lda.

O edifício é constituído por 2 pisos, piso -1 e piso 0. A estrutura é reticulada em betão armado e as paredes são paredes duplas em alvenaria de tijolo. A particularidade deste edifício reside essencialmente no piso -1, que sendo enterrado tem a sua estrutura toda em betão armado e como estão previstas em projeto duas salas de tratamento com radiação tem dois bunkers em betão armado em que as espessuras das paredes e lajes são elevadas para evitar a propagação da radiação para o restante edifício.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 vêm descritas as divisões que compõe o edifício, apresentando nas Figuras 3.2 e 3.3 as plantas e na Figura 3.4 um corte, do projeto de arquitetura do edifício.

Tabela 3.1 – Descrição dos espaços do edifício

Piso	Descrição dos espaços
-1	2 salas de tratamento (terapias de tratamento com radiação), 2 salas de controlo, 1 armazém, 1 sala de moldes, 1 sala de macas, 4 cabines de preparação de paciente, 4 instalações sanitárias, 1 sala de sujos, 1 sala de planeamento, 1 zona de espera e 1 sala de reserva.

Tabela 3.2 – Descrição dos espaços do edifício (continuação)

Piso	Descrição dos espaços
-1	Zona técnica- AVAC
0	1 sala de estar para o pessoal, 1 espaço para arrumos, 2 vestiários para o pessoal, 1 enfermaria, 2 salas de consulta, 2 gabinetes, 2 instalações sanitárias, 1 sala de TAC, 1 sala de controlo, 2 cabines de preparação de paciente, 1 sala de reserva, 1 zona de espera, 1 receção, 1 sala de atendimento, 1 sala para servidores.
0	Zona técnica – AVAC, armazém de gases médicos, gerador, quadros, posto de transformação.

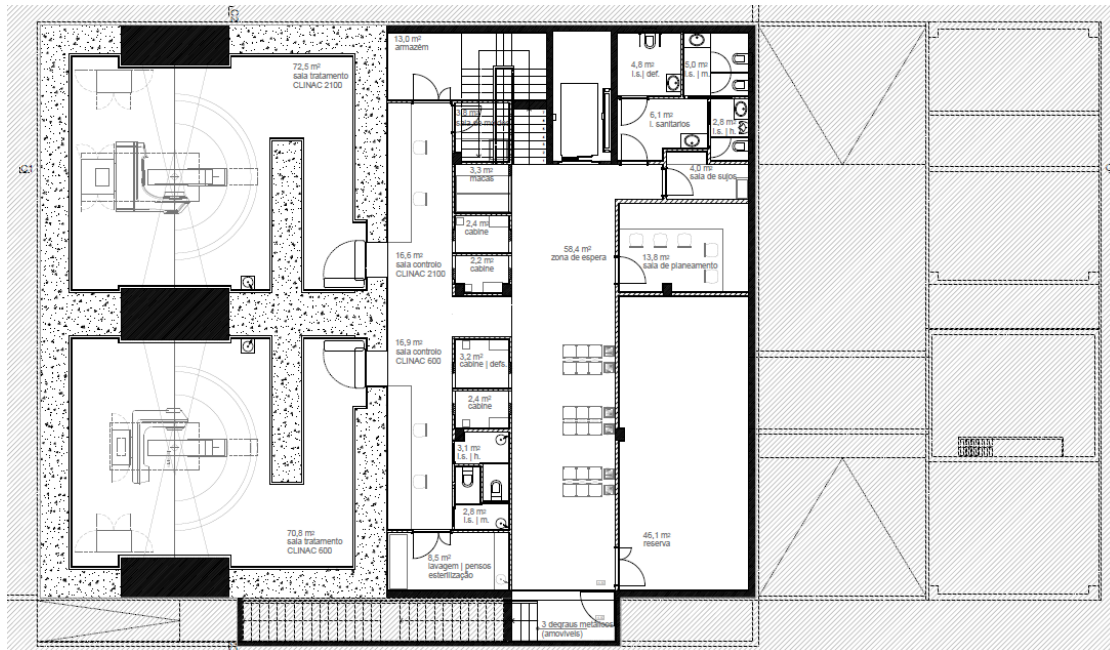


Fig. 3.2 – Planta do piso -1 – planta de arquitetura em AutoCad

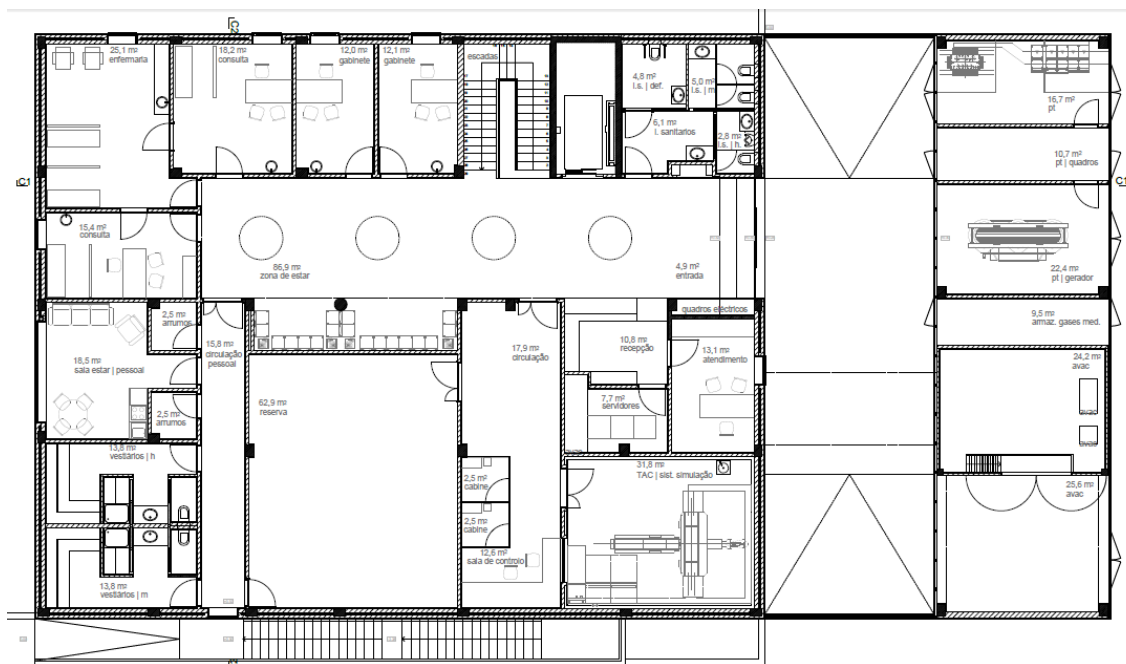


Fig. 3.3 – Planta do piso 0 – planta de arquitetura em AutoCad

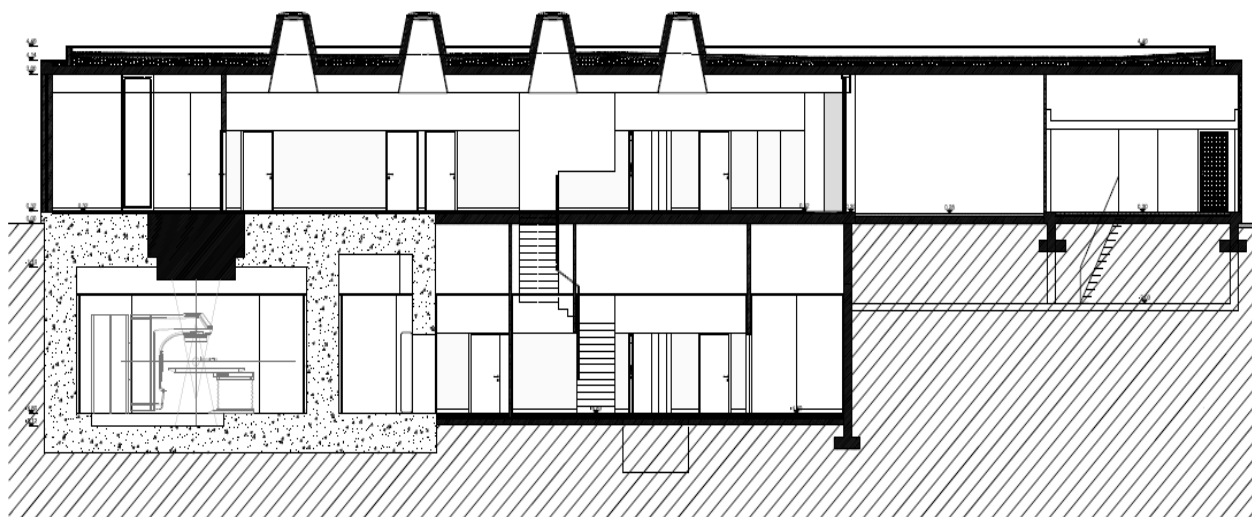


Fig. 3.4 – Corte 1 – corte de arquitetura em AutoCad

3.2.3 O processo construtivo

Como em todo o processo produtivo, também numa obra se passa por diversas fases que culminam na obtenção de um produto final. Correntemente este processo passa por fases que estão relacionadas com o projeto e outras que estão associadas à execução, contudo de uma forma sucinta pode-se dizer que o processo deveria passar pelas seguintes etapas:

- Visita ao local da obra por parte da equipa de projeto (arquitetos e projetistas), o conhecimento do local condiciona as soluções arquitetónicas e estruturais;
- Realização de ensaios geotécnicos (condiciona o tipo de fundação a adotar);
- Elaboração dos projetos e plano de segurança e saúde, necessários ao licenciamento. Após aprovação dos projetos por parte da entidade licenciadora e feita a comunicação prévia de abertura de estaleiro à ACT, dá-se início aos trabalhos no local da obra;
- Vedação e montagem do estaleiro;
- Marcação da área de terreno a intervir;
- Limpeza de terreno, dando início aos processos de escavação, entivação, contenção e estabilização de taludes (cada ação depende de cada caso em estudo);
- Remarcação da obra;
- Cofragem de fundações, montagem de armaduras de fundação, betonagem de fundações e descofragem;
- Cofragem de elementos verticais (pilares e paredes de suporte), montagem de armaduras dos elementos verticais, betonagem dos elementos verticais e descofragem;
- Cofragem de lajes (esta etapa depende da solução de laje adotada), montagem/armação de lajes, betonagem de lajes e descofragem;
- Cofragem de escadas, montagem de armaduras de escadas, betonagem de escadas e descofragem;¹²
- Após a execução da estrutura procede-se à elevação de paredes exteriores e interiores procede-se à execução das outras especialidades (redes de abastecimento, saneamento,

¹² <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/396/4/ManualSeguran%C3%A7a.pdf> (acedido em 10/04/2017)

térmico, acústico, rede de gás, rede de águas pluviais, segurança contra incêndios, ITED, etc.);

- Seguidamente procede-se à execução dos revestimentos e pinturas.

Durante o processo de execução de quase todo o tipo de obras de engenharia são utilizados vários sistemas que permitem a sua execução, nomeadamente estruturas provisórias, sendo consideradas estruturas provisórias os seguintes sistemas:

- Entivações;
- Cofragens;
- Escoramentos;
- Andaimes;
- Escadas de acesso;
- Guarda corpos, redes.

Dada a necessidade de utilização destes sistemas, há que compreender como e quando, se devem utilizar estas estruturas e em que medida estas podem contribuir para o aumento ou diminuição da segurança neste setor.

Neste sentido, procurou-se estudar no caso de estudo a utilização de algumas estruturas provisórias, mostrando em que fases estas devem ser utilizadas.

3.2.4 Fichas de segurança

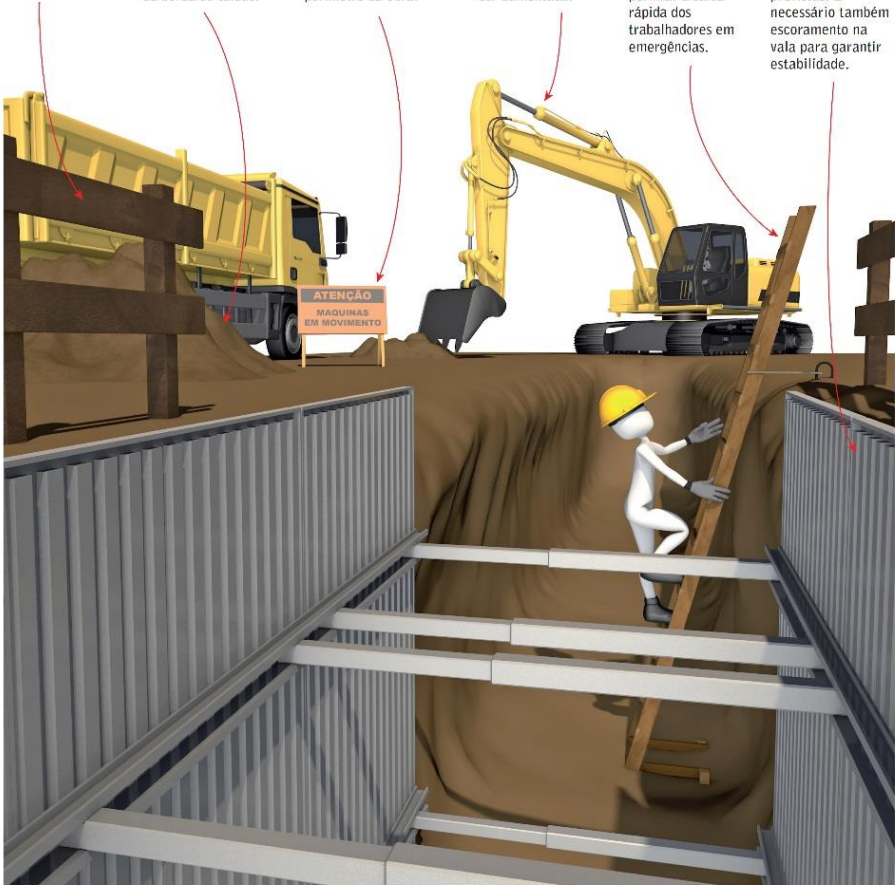
Quando se procede à análise dos possíveis perigos e dos riscos existentes numa determinada obra há que pensar em todo o processo e procurar elementos de apoio que permitam acelerar e sistematizar esta análise. Logo a elaboração de fichas que reúnam as principais atividades, perigos, riscos e medidas de prevenção são uma boa ferramenta para auxiliar o projetista que está debruçado sobre o planeamento de segurança. Nesse sentido foram elaboradas algumas fichas de segurança que permitem auxiliar numa fase inicial a análise de perigos. Contudo como é evidente cada obra é única e com características muito específicas, daí que estas fichas são sujeitas a alterações dependendo da realidade da obra.

Seguidamente apresenta-se a ficha de segurança referente a escavações, sendo as restantes colocadas nos documentos em anexo.

Tabela 3.3 – Ficha de segurança de escavação

Atividade	Escavação (abertura de caboucos e de zona para implantação do piso -1)
Descrição da atividade	<p>Os trabalhos de movimentação de terras requerem a utilização de equipamentos pesados e como tal este tipo de trabalho deve ser executado por trabalhadores especializados e com qualificação. Nos trabalhos de escavação é necessário compreender as seguintes terminologias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Escavação: Movimento de remoção de terras com vista a implantar uma obra; • Cabouco: Caixa aberta no terreno, onde se implantam as fundações de uma construção; • Vala: Escavação em que o comprimento é muito maior que a largura, destinada a receber as fundações de um edifício, tubagens ou escoamento de águas; • Entivação: Revestimento executado em madeira em poços, galerias, ou escavações de certa profundidade, destinado a impedir desmoronamentos.
Perigos	<p>Circulação de trabalhadores na zona de escavação e na zona superior (bordo da escavação); Tipo de solo; Retroescavadora; Camiões.</p>
Riscos	<p>Atropelamento devido à circulação de camiões; Choques ou pancadas provocadas pela retroescavadora. Queda em altura; Queda ao mesmo nível; Soterramento; Queda de objetos (solo); Exposição a vibração Exposição a ruído; Exposição a variações térmicas; Projeção de partículas; Poeiras; Capotamento e colisão de veículos.</p>
Medidas de prevenção	<p>Garantir que os trabalhos são efetuados por pessoal com formação especializada; Identificar e localizar as redes técnicas enterradas e linhas de água; Vedar a zona de escavação com guarda-corpos; Definição das zonas e sentidos de circulação; Equipamentos e pessoas devem circular em vias definidas; Trabalhadores devem ser proibidos de circular junto do raio de ação dos equipamentos em funcionamento; Avaliar se os limites de exposição são ultrapassados. Caso o sejam há que apostar em medidas como a rotação de trabalhadores nos postos de trabalho e apostar na compra de equipamentos que gerem menos ruído e vibração. Em último recurso será necessário apostar na utilização de EPI's. Caminhar com cuidado; Manter o local de trabalho organizado e limpo; Os produtos de escavação não devem ser depositados a menos de 0,60 m do bordo superior da vala. Neste espaço não deve ser permitida a colocação cargas nem permitida a circulação de veículos e pessoas; Quando o terreno não for rocha ou coeso e a escavação tiver uma profundidade superior a 1,25 m, é obrigatório executar a contenção provisória das paredes laterais.</p> <p>Trabalhadores devidamente equipados com EPI's:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacete; • Botas impermeáveis de proteção mecânica; • Botas de proteção mecânica; • Óculos de proteção contra impactos; • Protetores ou tampões auriculares; • Luvas de proteção mecânica; • Semi-máscara com filtro.

Tabela 3.4 – Ficha de segurança de escavação (continuação)

A região superior da vala deve possuir guarda-corpo de segurança.	O material retirado da escavação precisa ser depositado a distância superior à metade da profundidade, medida a partir da borda do talude.	É necessário manter sinalização de advertência durante o dia e a noite, além de barreira de isolamento em volta de todo o perímetro da obra.	Se houver carga adicional, como tráfego de escavadeiras e caminhões, a distância do material depositado precisa ser aumentada.	Em escavações maiores que 1,25 m, devem existir escadas ou rampas próximas ao posto de trabalho para permitir a saída rápida dos trabalhadores em emergências.	Se a profundidade for superior a 1,25 m, a escavação deve ser estabilizada com estruturas que suportem as cargas previstas. É necessário também escoramento na vala para garantir estabilidade.
					

Fotos

13

Na maioria das situações quando se pensa na implementação das medidas/equipamentos de segurança esquece-se que aquando da colocação destes elementos, os trabalhadores que têm a seu cargo a respetiva montagem/desmontagem dos equipamentos ficam sujeitas aos perigos decorrentes da atividade de montagem/desmontagem e ainda da situação perigosa que se está a tentar controlar. Deste modo há que ter em consideração os perigos inerentes à montagem/desmontagem destas estruturas. Tendo isso em consideração, neste trabalho também se desenvolveram algumas fichas referentes às estruturas provisórias, procurando assim atuar sobre todos os perigos existentes nos trabalhos que envolvem a obra.

Seguidamente apresenta-se uma ficha de segurança relativa aos andaimes, estando a ficha de colocação de guarda-corpos nos anexos.

¹³ <https://www.engenhariacivil.com/> (acedido em 10/03/2017)
<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/51/escavacoes-confira-as-regras-para-minimizar-os-riscos-de-265477-1.aspx> (acedido em 10/03/2017)
<http://www.eda.pt/Profissionais/Paginas/ProcedimentosSeguranca.aspx> (acedido em 10/03/2017)
<http://www.engenium.net/503/colecao-de-fichas-de-seguranca-e-saude-fss.html> (acedido em 10/03/2017)

Tabela 3.5 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes

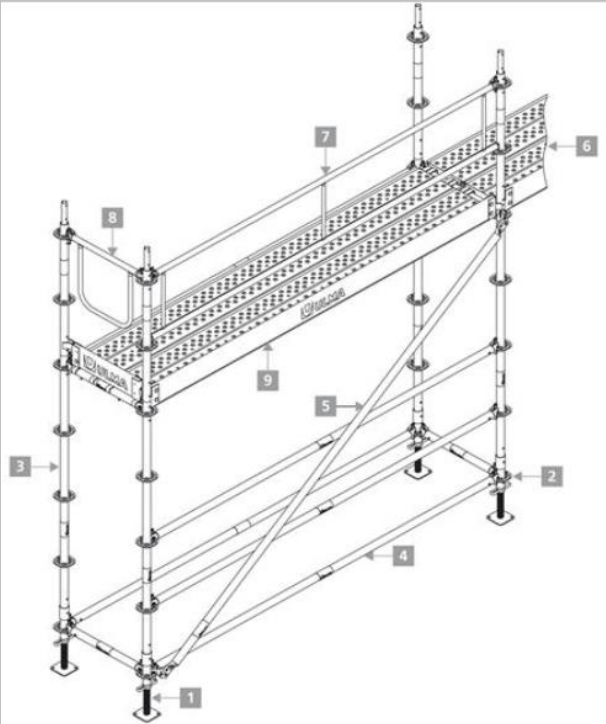
Atividade	Montagem/desmontagem de andaimes
Descrição da atividade	<p>O andaime é considerado uma construção e proteção coletiva provisória, podendo ser fixa ou móvel, que serve como ferramenta auxiliar para a execução das obras. O andaime é uma plataforma de trabalho com acesso seguro, tendo como principais funções:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proteger as pessoas do risco de queda em altura; • Armazenar temporariamente e em segurança os equipamentos e materiais necessários às tarefas em curso; • Proteger outros trabalhadores e terceiros situados nos níveis inferiores, contra a queda de objetos. <p>A utilização de andaimes é obrigatória nas obras de construção em que os trabalhadores laborem a mais de 4m de altura. Os andaimes a partir de 8m de altura obrigam à existência de um responsável pelo seu cálculo de estabilidade, execução e consequente manutenção. Para andaimes com alturas superiores a 25m é ainda necessário proceder a inspeções após a ocorrência de temporais ou após 8 dias de não utilização.</p> 
	<p>Legenda:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nivelador de base de apoio; 2. Prumos verticais; 3. Prumo de ligação; 4. Barras horizontais; 5. Barras diagonais; 6. Plataforma (prancha) – elemento concebido para suportar cargas, pessoas e objetos ou ambos em simultâneo; 7. Guarda-corpos; 8. Protetor lateral contra queda em altura; 9. Rodapé/guarda-cabeças <p>No caso de edifícios com pisos enterrados, os aterros e as impermeabilizações das caves devem estar concluídos antes do início da montagem dos andaimes. Caso contrário não existirá uma plataforma adequada para a instalação dos andaimes.</p>
Perigos	Montagem do andaime
Riscos	Queda em altura;
	Queda de materiais/ferramentas;
	Choque contra objetos;
	Entalamento entre objetos;
	Sobre-esforços ou posturas inadequadas; Exposição a ruído; Exposição a variações térmicas.

Tabela 3.6 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes (continuação)

Medidas de prevenção	<p>As operações de montagem devem ser efetuadas sob a direção de uma pessoa competente, com formação adequada sobre os riscos existentes neste tipo de operações. Devendo ser capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interpretar do plano de montagem, desmontagem e reconversão do andaime; • Promover a segurança durante a montagem, desmontagem ou reconversão do andaime; • Implementar as medidas de prevenção dos riscos de queda de pessoas ou objetos; • Implementar medidas que garantam a segurança do andaime em caso de alteração das condições meteorológicas; • Verificar as condições de carga admissível; • Identificar qualquer outro risco que a montagem, desmontagem ou reconversão possa comportar.
	<p>Na montagem/desmontagem do andaime:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante os trabalhos de montagem e desmontagem de andaimes, os montadores e demais trabalhadores devem usar os necessários equipamentos de proteção individual, nomeadamente para trabalhos em altura (equipamentos de segurança anti-queda); • As bases reguláveis dos prumos devem assentar sobre apoios sólidos e estáveis, tais como, escoras (pranchas ou vigas) de madeira, tendo em vista a melhor distribuição de cargas no solo; • Os prumos devem ser travados junto ao solo. Se o declive do terreno exceder 30% devem ser enterrados, no mínimo 20cm; • Na elevação das peças constituintes dos andaimes deverão ser usados meios mecânicos, tais como, gruas e aparelhos de guindar; • Na montagem dos andaimes não se deve iniciar o tramo superior sem estarem terminados os níveis inferiores com todos os elementos de estabilidade; • Os elementos de união, (abraçadeira, junta de empalme e cavilha de encaixe) devem encontrar-se devidamente apertados/justapostos, promovendo a melhor fixação entre as restantes peças do andaime; • Todos os elementos constituintes de um andaime que denotem alguma deficiência devem ser substituídos de imediato; • Os andaimes de construção devem ser fixados à edificação, ou a outra estrutura fixa existente, tendo em vista a necessidade de contraventamento da estrutura; • Nos andaimes devem instalar-se redes de proteção, para evitar que a projeção de detritos ou queda de materiais possa atingir outros trabalhadores ou pessoas que passem nas imediações; • Durante a montagem deve ser delimitada a área da montagem, com um mínimo de 2 metros de lado em torno da zona de montagem.
	<p>Terminado o período de utilização dos andaimes e até à sua desmontagem completa deve ser afixada na zona ou local de acesso uma placa visível com a seguinte informação:</p>

ANDAIME DESACTIVADO
PROIBIDA A UTILIZAÇÃO
INÍCIO DE DESMONTAGEM
DD.MM.AAAA

Equipamentos de proteção individual:

- Capacete;
- Calçado de segurança com proteção mecânica;
- Vestuário de alta visibilidade/refletor ou colete refletor;
- Luvas de proteção mecânica;
- Arnês com cinto e sistema anti-quedas.

Tabela 3.7 – Ficha de segurança de montagem/desmontagem de andaimes (continuação)



Fotos



14

¹⁴ <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/trabalhos-em-altura/> (acedido em 15/03/2017)
[http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/Campanhas/Campanhasrealizadas/PrevencaodeRiscosProfissionaisemMaquinaseEquipamentosdeTrabalho/Documents/11.45_Pedro%20Vasco.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Campanhas/Campanhasrealizadas/PrevencaodeRiscosProfissionaisemMaquinaseEquipamentosdeTrabalho/Documents/11.45_Pedro%20Vasco.pdf) (acedido em 15/03/2017)
[http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/Publicacoes/Documents/Ficha%20de%20Seguran%C3%A7a%20-%20Andaimes.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Publicacoes/Documents/Ficha%20de%20Seguran%C3%A7a%20-%20Andaimes.pdf) (acedido em 15/03/2017)
<http://www.eda.pt/Profissionais/Paginas/ProcedimentosSeguranca.aspx> (acedido em 15/03/2017)

3.2.5 Medidas de segurança

Ao longo deste trabalho tem-se vindo a fazer referências à aplicação de medidas de segurança com o intuito de tornar o estaleiro um local mais seguro, como tal, na Tabela 3.8, explicitam-se os meios de segurança escolhidos para a obra em causa.

Tabela 3.8 – Implementação de elementos de segurança

Elementos de segurança	Fase de utilização	Observações sobre a aplicação no modelo	Fonte
Estruturas provisórias:			
-Andaimes	Execução de paredes exteriores, reboco e acabamentos de paredes exteriores.	Foi necessário alterar a família de forma a adaptá-la ao modelo.	https://www.bimandco.com/en/groups/100/bimobjects/4649/downloadcenter
-Guarda-corpos	Vedação da zona de escavação. Colocação dos guarda-corpos nos bordos de lajes enquanto não forem elevadas as paredes exteriores e platibandas. Vedação das escadas e da caixa de elevador.	Criação de dois modelos de guarda-corpos, diferindo na forma de amarração à estrutura.	Família modela pela a autora.
Vedação de estaleiro	Vedação colocada no início da obra e mantida até ao momento de execução da vedação definitiva do edifício.	Vedação colocada após a inserção da topografia. Para colocação deste elemento no modelo teve-se que encontrar uma família no Revit que fosse “adaptive family”, fazendo com que a vedação acompanhasse o perfil do terreno.	https://www.revitcity.com/downloads.php?action=view&object_id=14492
Definição de caminhos de circulação	Definição dos caminhos de circulação antes do início dos trabalhos de escavação, sendo esta a fase que envolve maior circulação de máquinas pesadas.	Utilização do comando Sub-region para definição do caminho de circulação. Aplicação de setas de sentido de circulação.	Biblioteca do Revit.
Tampos	Colocação dos tampos em aberturas na cobertura até ao momento da colocação dos sistemas AVAC. Colocação de tampos na abertura das escadas exteriores.	Família modela com parametrização que permite a alteração das dimensões dos tampos.	Família modelada pela autora

3.2.6 Modelação do edifício em 3D

A modelação em 3D é uma das fases mais importantes no desenvolvimento deste trabalho, uma vez que é através destes modelos que se torna possível a implementação e perceção das medidas de segurança necessárias para a respetiva obra. Além disso, permite a visualização em 3D de todos os elementos que compõe a obra, arquitetura, estabilidade, rede abastecimento e saneamento, entre outras especialidades.

Para a presente modelação 3D optou-se por elaborar dois modelos, estabilidade e arquitetura, tendo-se seguido o esquema apresentado na Figura 3.5. Partindo de informação existente em 2D dos dois projetos elaboraram-se os modelos 3D, utilizando para isso os templates específicos para estabilidade e arquitetura.

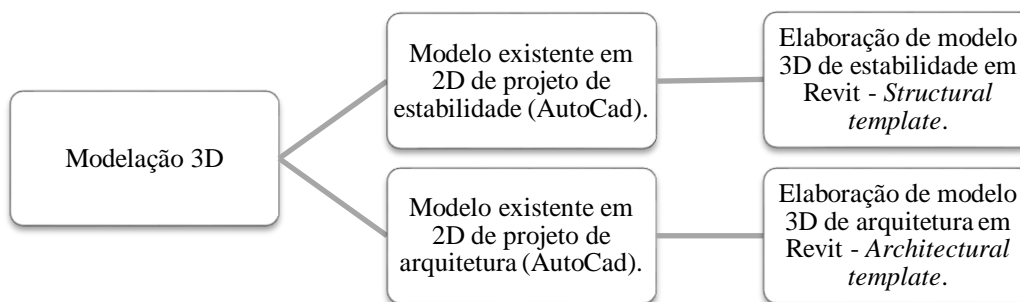


Fig. 3.5 – Esquema de trabalho de desenvolvimento dos modelos

A utilização de *templates* (Figura 3.6) permite aceder a um conjunto de propriedades específicas, nomeadamente escalas de exibição, disciplinas (diferentes especialidades), níveis de detalhe e configurações de visibilidade, sendo muito útil para obter um trabalho mais uniformizado entre diferentes colaboradores.¹⁵ Portanto, o template serve de base ao desenvolvimento do projeto em 3D.

No final da modelação de qualquer especialidade o modelo deve ser guardado como *Project* (RVT).



Fig. 3.6 – Architectural and Structural template

Após o estudo do edifício e compreensão da arquitetura e estabilidade, foi necessário realizar um trabalho de seleção de informação ao nível das plantas em AutoCad, eliminando informação excessiva como cotagens e mobiliário, para tornar as plantas “menos pesadas”. Esta tarefa foi desenvolvida com o intuito de importar em seguida para o Revit as plantas em AutoCad (formato DWG), servindo estas de referência à posterior modelação. Este passo só foi possível porque o

¹⁵<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-Customize/files/GUID-A9C36610-6853-433D-AFB5-639090BD017F-htm.html> (acedido em 15/04/2017)

Revit foi desenvolvido para ter em consideração a interoperabilidade entre programas, suportando ficheiros em DWG.

Para a importação de diferentes plantas em diferentes níveis, tem que se ter o cuidado especificar um ponto com as mesmas coordenadas em todas as plantas, para que na altura de sobreposição, estas sejam coincidentes nos diferentes níveis.

3.2.6.1 Modelo de Estabilidade

Quando se desenvolve um projeto estrutural no Revit a barra de ferramentas (*Ribbon toolbar*) que surge para o desenvolvimento do modelo é composta por elementos de estrutura (vigas, paredes, pilares, lajes...), elementos de fundação e elementos que permitem a definição da armadura dos elementos estruturais, Figura 3.7.

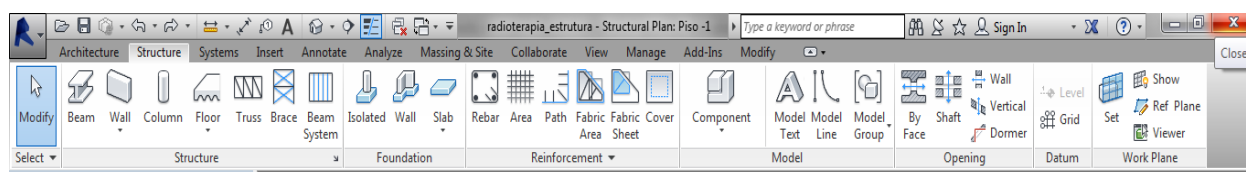


Fig. 3.7 – Ribbon toolbar – Revit Structure

Após a importação das plantas de estabilidade em AutoCad para o Revit, deve-se definir uma grelha (Figura 3.8), servindo de referência para a colocação dos diferentes elementos estruturais. Desta forma, torna-se mais fácil seguir o alinhamento dos elementos estruturais. Nesta fase inicial também se teve que definir os níveis (*level*), ou seja, definição das cotas entre pisos.

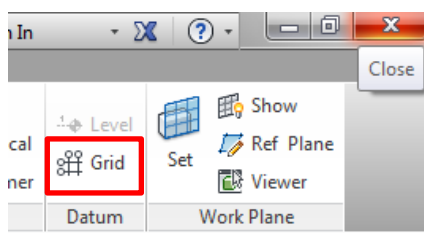


Fig. 3.8 – Grelha para servir de orientação à colocação de elementos estruturais

Concluídos estes passos iniciais, procede-se à inserção dos vários elementos estruturais. No desenho dos elementos há que ter sempre em mente o processo construtivo real, porque a forma como se modela o projeto tem implicações ao nível dos mapas de quantidades e na representatividade dos elementos. Por exemplo, pilares e paredes de suporte devem ser definidos piso a piso, não podem ser definidos desde a cave até ao teto do piso 0, pois isso significaria que o elemento é construído de uma só vez.

Na leitura do projeto de estabilidade verifica-se que um dos pisos está enterrado e que a estrutura é composta por paredes de suporte, logo procede-se à colocação das paredes através da categoria *Wall: Structural* (paredes estruturais), Figura 3.9. Dentro desta categoria existe todo um conjunto de famílias de parede, tendo-se optado por uma *Basic Wall*.

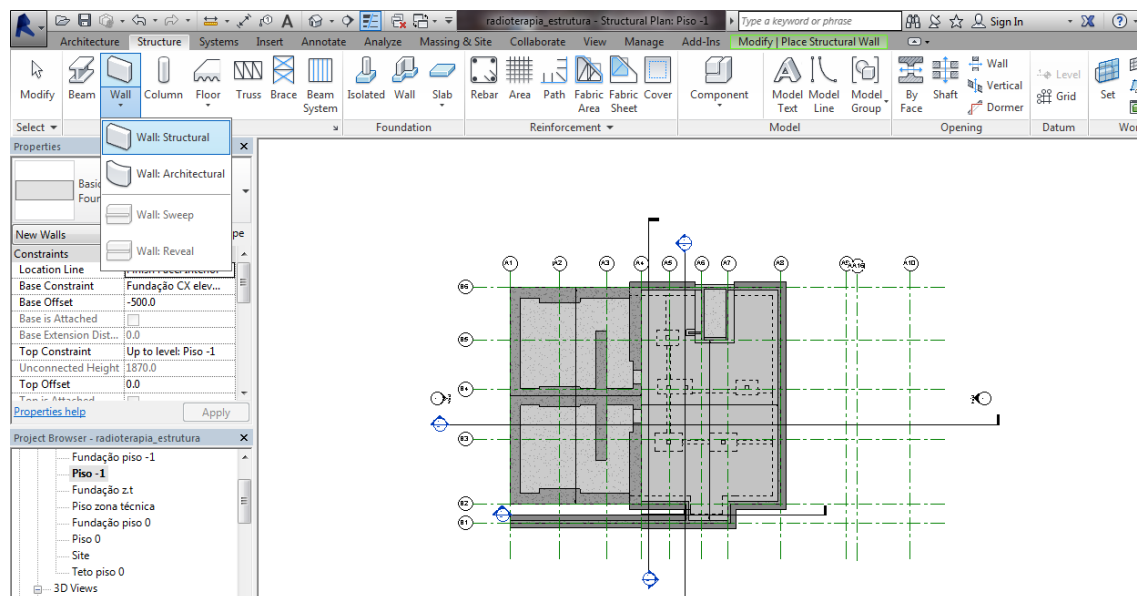


Fig. 3.9 – Definição dos elementos estruturais

Selecionada a família de parede pretendida, é neste ponto que se dá início à parametrização do elemento, atribuem-se novos nomes, definem-se espessuras/dimensões, materiais, propriedades dos materiais, através do comando *Edit Type*, Figura 3.10. De seguida basta desenhar o elemento estrutural no plano pretendido, neste caso no piso -1.

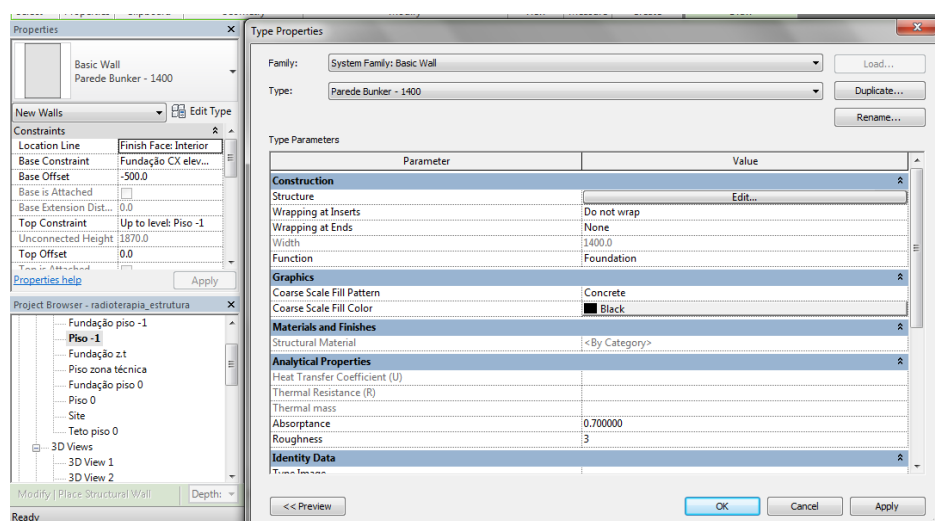


Fig. 3.10 – Definição dos parâmetros da parede de fundação

O processo realizado para as paredes é o mesmo para os restantes elementos estruturais, contudo em situações pontuais, como o caso do desenho das claraboias foi necessário modelar o elemento através do comando *Component – Model In-Place*, ou seja, criou-se uma família para a claraboia.

De referir que neste modelo não foi colocada a armação nos respetivos elementos estruturais, uma vez que esse não era um dos objetivos propostos para este trabalho.

Após a modelação de todos os elementos estruturais (paredes, pilares, vigas, sapatas, lintéis, lajes, claraboias, escadas), obteve-se o modelo 3D, Figura 3.11 e 3.12.

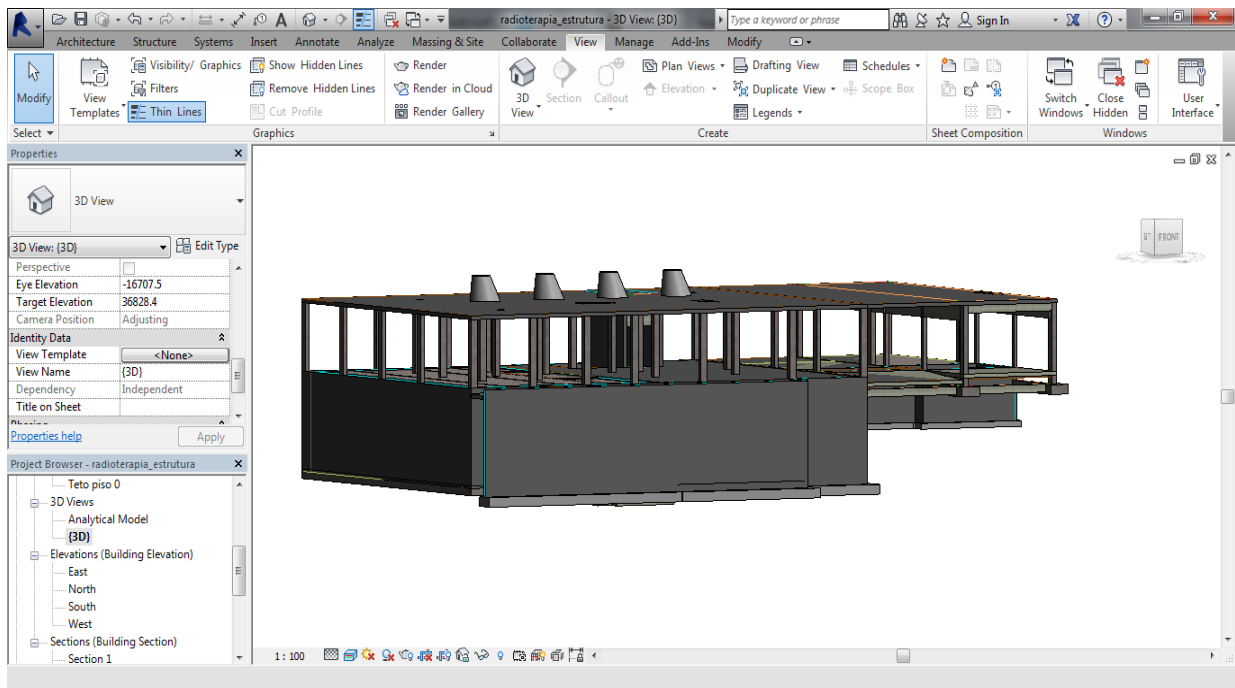
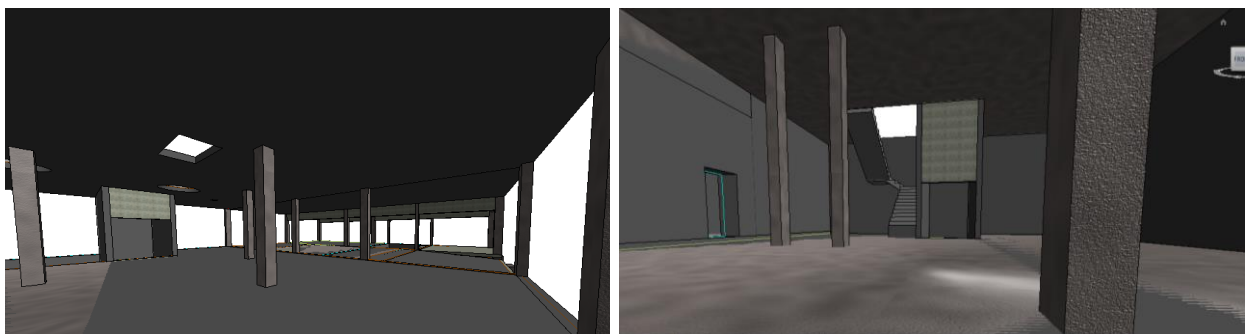


Fig. 3.11 – Modelo estrutural em 3D



a) b)
Fig. 3.12 – Imagens interiores da estrutura – a) Piso 0, b) Piso -1

Neste modelo, além da elaboração da estrutura também se optou por definir a topografia do terreno no qual o edifício se insere. Sendo a sua representação fundamental para a implementação da segurança ao nível do estaleiro.

Normalmente no *Structural template* o controlo de visualização da topografia está desativado por defeito, logo para a sua visualização foi necessário ativar este elemento, Figura 3.13.

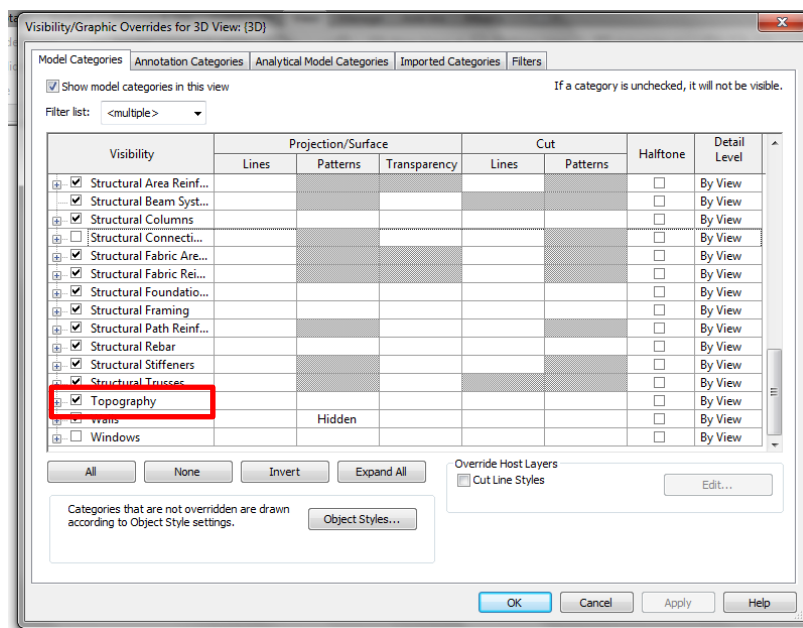


Fig. 3.13 – Ativação da visualização da topografia no modelo estrutural

Para a modelação do terreno e tendo em conta que não foi disponibilizado levantamento topográfico, foi necessário definir o terreno através dos comandos *Toposurface* e *Place Point*, definindo-se cotas para os pontos ao longo da área de terreno, com base numa imagem do local da obra, Figura 3.14 e 3.15.

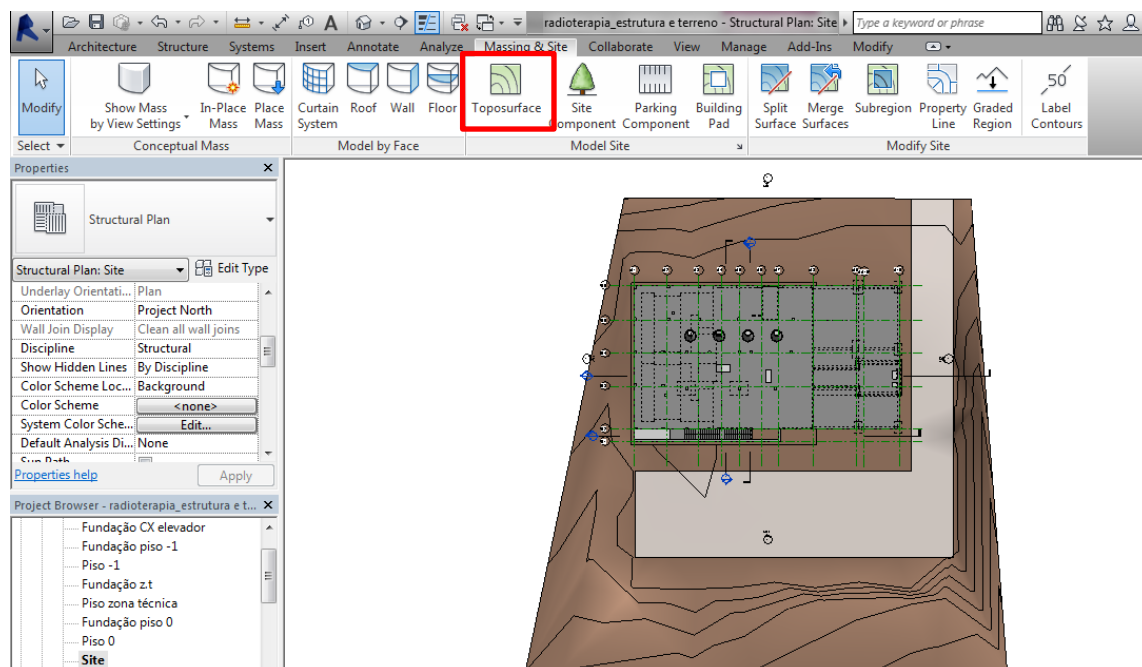


Fig. 3.14 – Planta do terreno

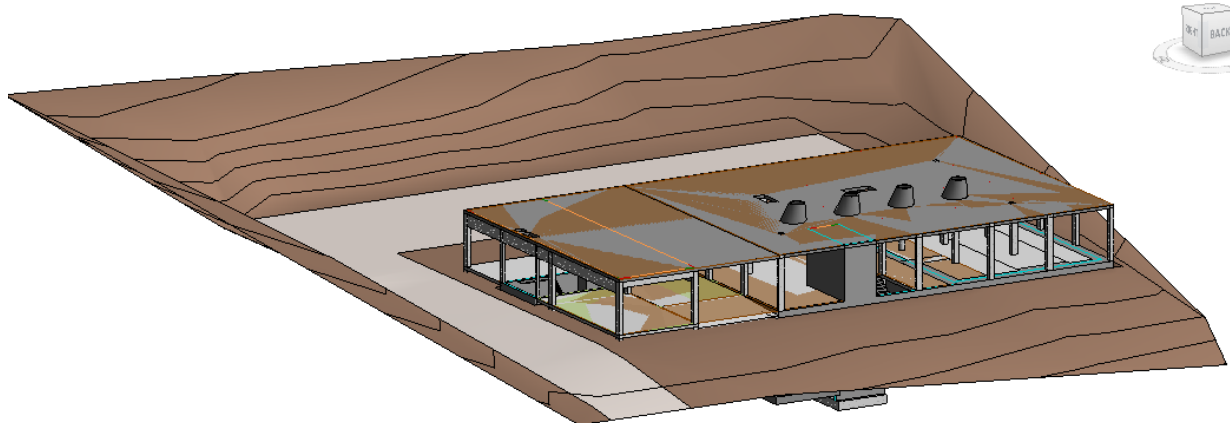


Fig. 3.15 – Modelo estrutural em 3D com o terreno

3.2.6.2 Modelo de Arquitetura

No desenvolvimento de um projeto de arquitetura no Revit, a barra de ferramentas (*Ribbon toolbar*) que surge para o desenvolvimento do modelo é composta por elementos arquitetônicos como paredes, portas, janelas, pisos/lajes, telhados, escadas, pilares, Figura 3.16. Neste tipo de modelo apesar de existirem alguns elementos coincidentes com a barra de ferramentas do *template* estrutural a nível de parametrização não se definem as armaduras, pois está-se a trabalhar com a componente de arquitetura e este tipo de pormenorização não é relevante para a arquitetura.

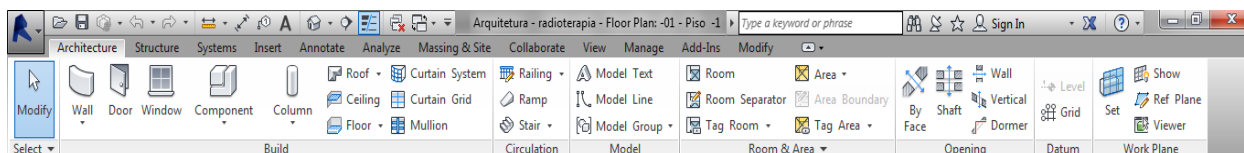


Fig. 3.16 – Ribbon toolbar – Revit Architecture

O processo de desenvolvimento da arquitetura é muito semelhante ao do projeto de estabilidade. Procedeu-se à importação das plantas de arquitetura em formato AutoCad para o Revit para cada nível e definiram-se as cotagens entre pisos, Figura 3.17.

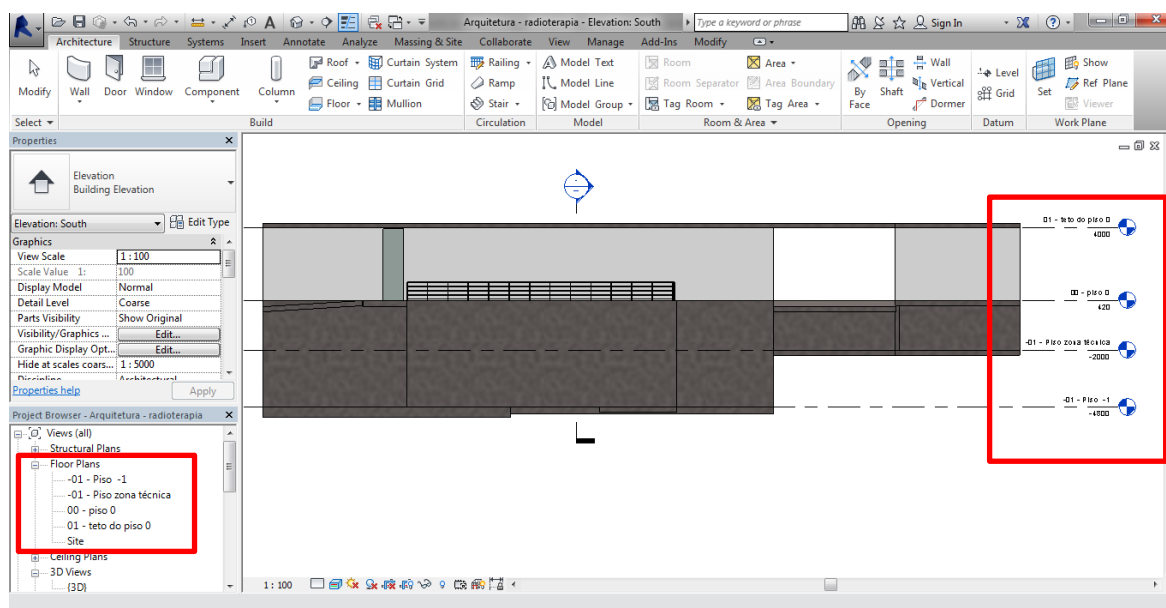


Fig. 3.17 – Níveis entre pisos (Alçado Sul)

Seguidamente procedeu-se ao desenho de todos os elementos arquitetónicos, paredes exteriores, pisos, paredes interiores, portas, janelas e definiram-se parâmetros para os vários elementos, como o tipo de material, tipo de acabamento e respetivas cores. No desenvolvimento da arquitetura foi ainda necessário recorrer a bibliotecas de famílias disponíveis na Internet, pois a biblioteca que vinha pré-definida com o Revit não era suficientemente extensa para cobrir todos os pormenores existentes na arquitetura, como tal importaram-se algumas portas e janelas. Na Figura 3.18 é possível visualizar diferenças a nível de acabamentos.

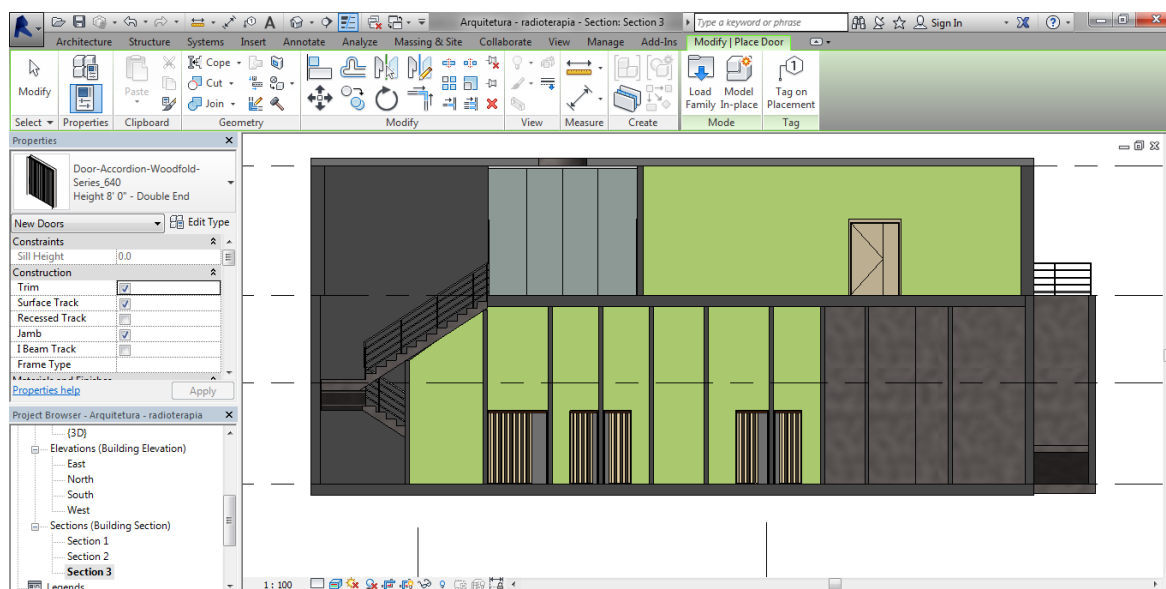


Fig. 3.18 – Corte 3 da arquitetura

Após a modelação de praticamente todos os elementos, obteve-se o modelo 3D apresentado na Figura 3.19. Há que salientar que neste modelo as claraboias e as escadas interiores da zona técnica

não foram desenhadas com o intuito de tornar mais fácil a visualização da sobreposição dos dois modelos (estabilidade e arquitetura) no *software* Navisworks.

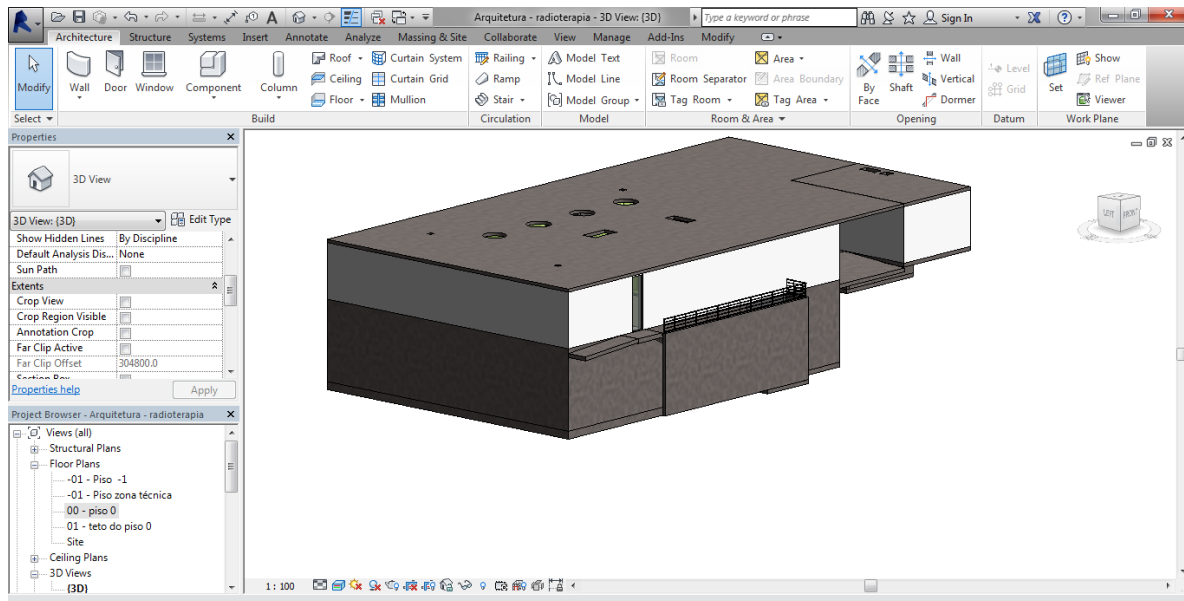


Fig. 3.19 – Modelo arquitetônico em 3D

Tal como no projeto de estabilidade, neste modelo também foi executada a modelação do terreno. Contudo neste caso definiram-se alguns arranjos exteriores, nomeadamente lugares de estacionamento, sentidos de circulação dos veículos e posicionamento de arvoredo, Figura 3.20 e 3.21.

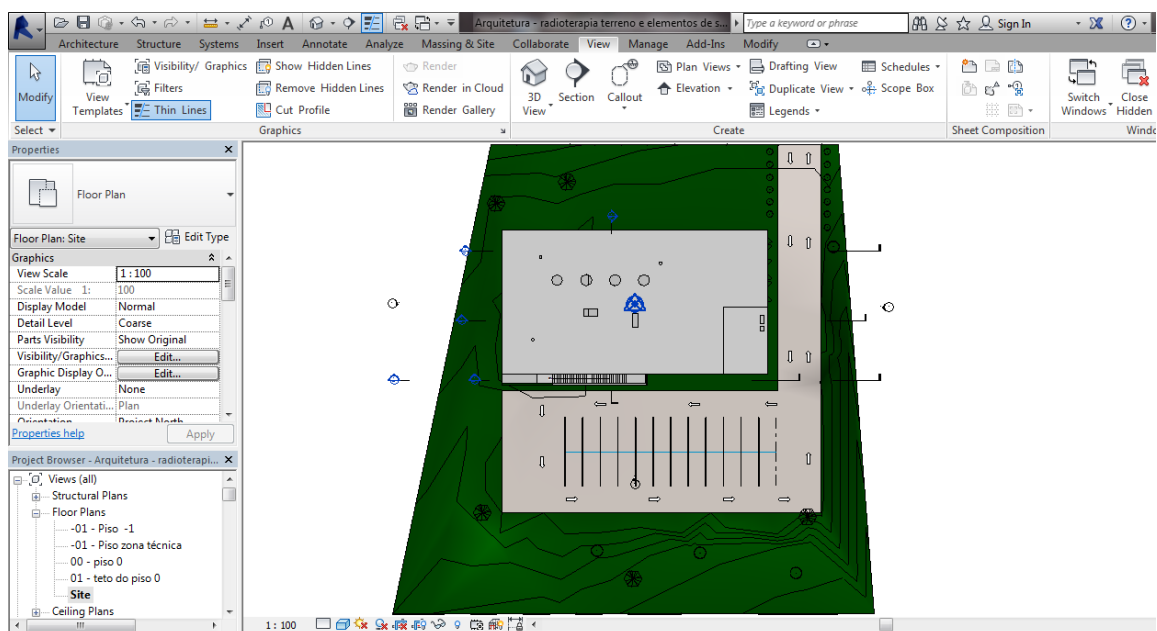


Fig. 3.20 – Planta do terreno

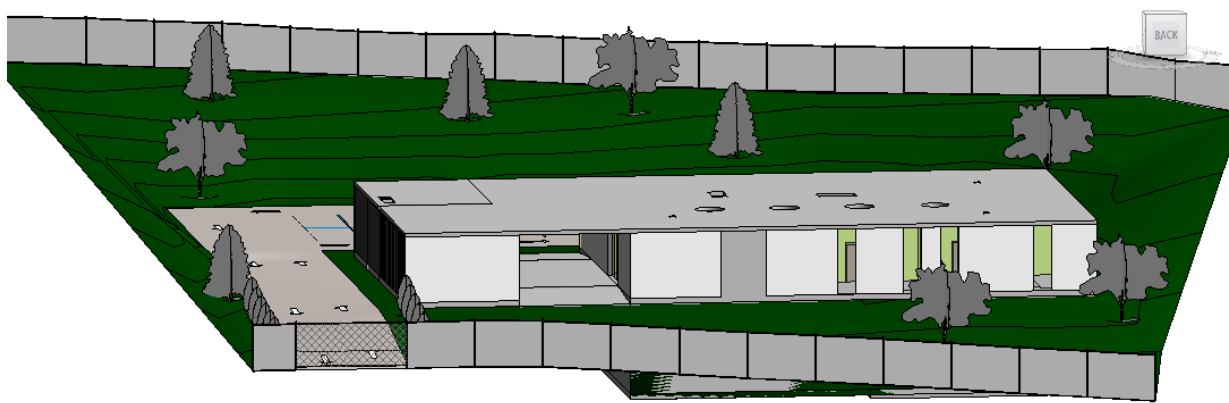


Fig. 3.21 – Modelo arquitetónico em 3D com o terreno

3.2.6.3 Modelação de elementos de segurança

Ao criar um projeto no Revit está-se a adicionar à modelação 3D elementos de construção paramétricos. Tendo por base esse princípio, sempre que se pretende adicionar um novo elemento, neste caso, elementos de segurança é necessário encontrar famílias com as características e funções pretendidas.

Assim sendo, numa primeira fase recorreu-se à biblioteca de famílias do Revit numa tentativa de encontrar elementos que contribuíssem para a implementação da segurança. Contudo verificou-se que a biblioteca não possuía os elementos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Logo foi necessário efetuar pesquisas, no sentido de encontrar sites que fornecessem gratuitamente famílias para o Revit ou em linguagem IFC.

Através da pesquisa desenvolvida encontraram-se alguns sites com famílias para o Revit, estando apresentado na Tabela 3.9 os sites de famílias que contribuíram com elementos de segurança para o presente trabalho. Através destes sites procedeu-se ao download de andaimes, plataformas e elementos de vedação para o estaleiro.

Tabela 3.9 – Sites de famílias para Revit

Páginas de internet de famílias para o Revit	
Revit City	https://www.revitcity.com/downloads.php
bimstore	https://www.bimstore.co.uk/
BIMobject	https://bimobject.com/pt/product
BIM&CO	https://www.bimandco.com/en/bimobjects

Apesar de toda a pesquisa desenvolvida, verificou-se uma grande escassez de elementos disponibilizados para a componente de segurança. Devido a esta escassez, de elementos, foi necessário proceder ao desenvolvimento de algumas famílias para incorporar nos modelos, optando-se pela modelação de guarda-corpos e de tampos para aberturas.

Seguidamente apresenta-se pormenorizadamente a construção das famílias e o que foi executado ao nível da implementação das restantes medidas de segurança.

- Vedação do estaleiro

Os elementos de vedação de um estaleiro têm como função delimitar e proteger o estaleiro, protegendo ainda os transeuntes que circulam nas proximidades da obra.

Na vedação do terreno foi necessário encontrar uma família de vedação que fosse capaz de se adaptar à topografia do terreno. Para tal, teve-se que procurar uma família que tivesse por base um *template* do tipo *Metric Generic Model Adaptive*. Através das famílias disponibilizadas no Revit City foi possível encontrar uma família de vedação com capacidade para se adaptar ao terreno, Figura 3.22.

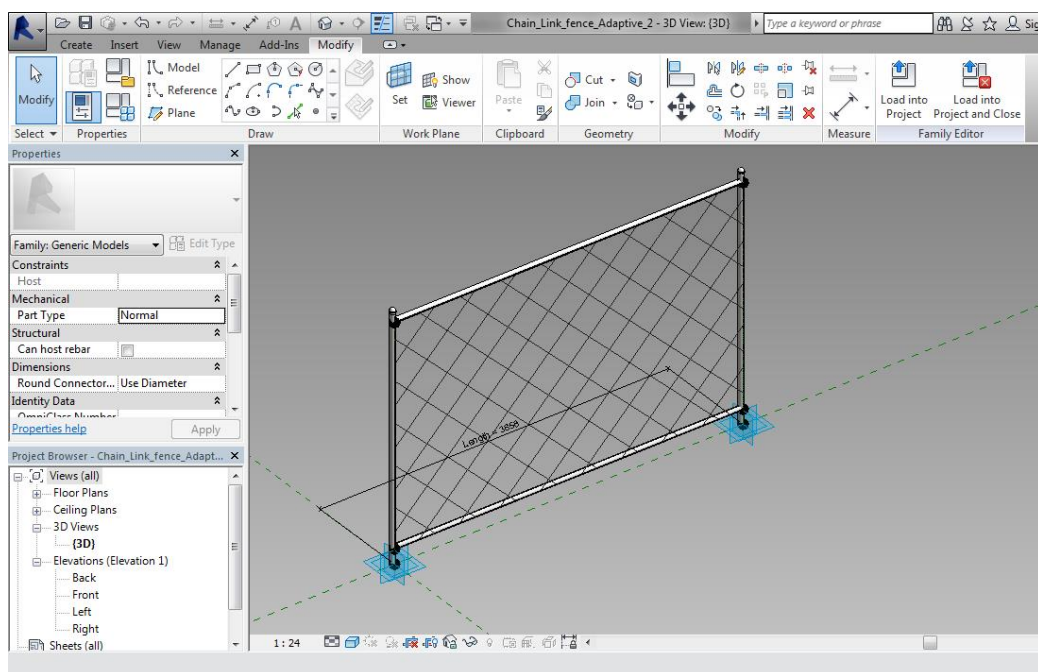


Fig. 3.22 – Vedação utilizada na delimitação do estaleiro

A colocação deste elemento no modelo 3D não é de aplicação direta, para a sua colocação foi necessário criar uma massa no contorno do perímetro do terreno através do comando *In-Place Mass*. No limite onde se pretendia colocar a vedação traçou-se uma *Spline* para definir os pontos de colocação da vedação. Seguidamente dividiu-se a linha *Spline* em segmentos iguais, através do comando *Divide Path*, Figura 3.23, de forma a obter painéis de vedação com o mesmo comprimento. Apesar desta definição de espaçamento, continua a existir liberdade para definir diferentes comprimentos em painéis, optando-se por colocar na zona de acesso ao estaleiro uma vedação de maior dimensão para fácil acesso das viaturas.

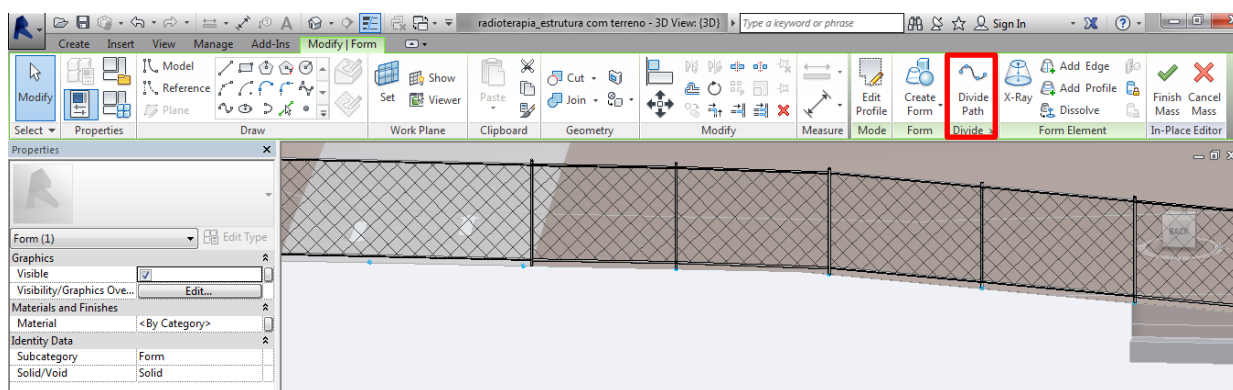


Fig. 3.23 – Vedação de estaleiro

- Caminhos de circulação

A definição de caminhos e sentidos de circulação é de especial importância quando no estaleiro circulam veículos pesados.

Para a definição dos percursos utilizou-se o comando *Subregion*, Figura 3.24, e para a definição dos sentidos de circulação descarregou-se da biblioteca do Revit as setas indicadoras de sentido.

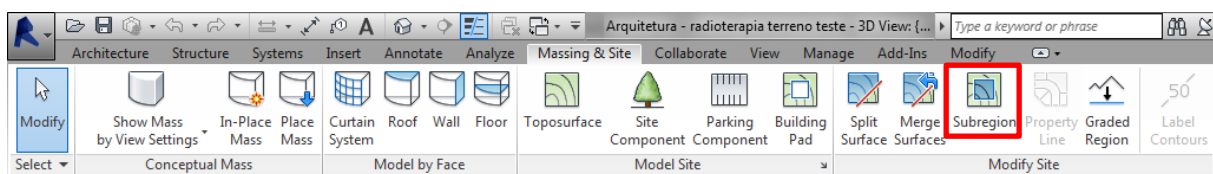


Fig. 3.24 – Comando *Subregion*

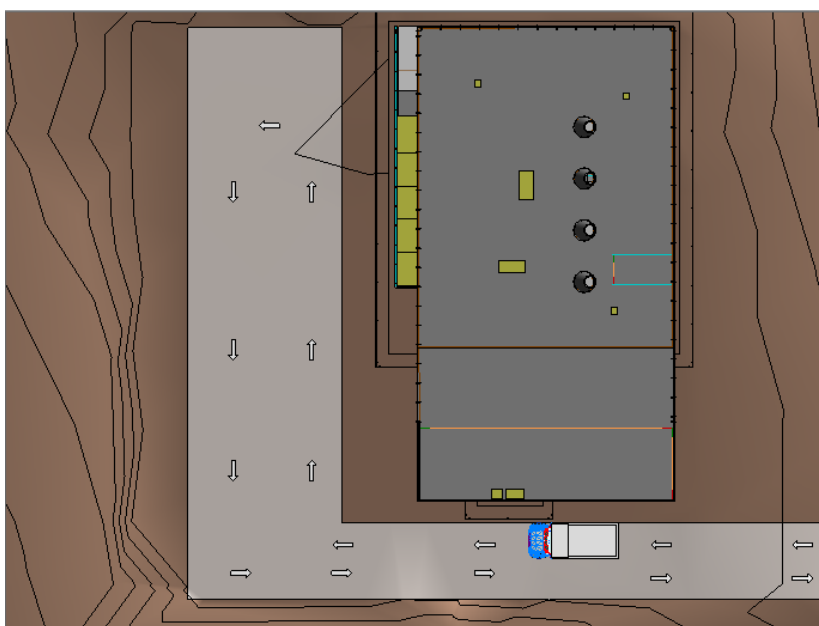


Fig. 3.25 – Caminhos de circulação

- Guarda-corpos

Os guarda-corpos são estruturas provisórias utilizadas para prevenir as quedas em altura, sendo utilizados em bordos de lajes, em aberturas e em bordos de zonas de escavação.

Como não se encontrou nenhuma família referente a estes elementos foi necessário proceder à sua modelação. Neste caso em concreto teve-se que modelar dois tipos de corpos para suporte das barreiras de proteção, um com sistema de aperto às lajes e outro com sistema de encaixe em espigão, Figura 3.26. Tal necessidade decorre da existência de configurações de bordos diferentes.

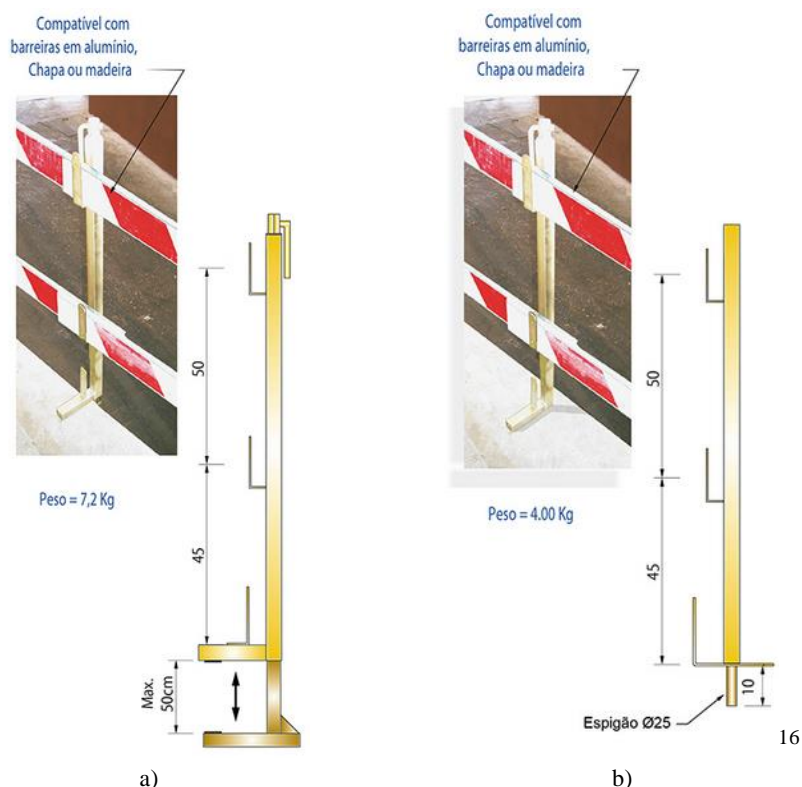


Fig. 3.26 – Corpo do elemento vertical que compõe o sistema guarda-corpos, a) com sistema de aperto às lajes, b) com sistema de encaixe em espigão

A completa modelação do sistema de guarda-corpos no Revit, implicou a utilização de dois templates diferentes, um para o desenvolvimento dos corpos verticais e outro para os elementos horizontais (barreiras de proteção).

Para modelação inicial desta família procedeu-se à criação de um novo ficheiro de famílias (*Families – New*), Figura 3.27, utilizando em seguida o *template* denominado *Metric Generic Model*.

¹⁶ <http://www.carldora.com/pt/produtos/andaimes/guarda-corpos/guarda-corpos> (acedido em 15/02/2017)

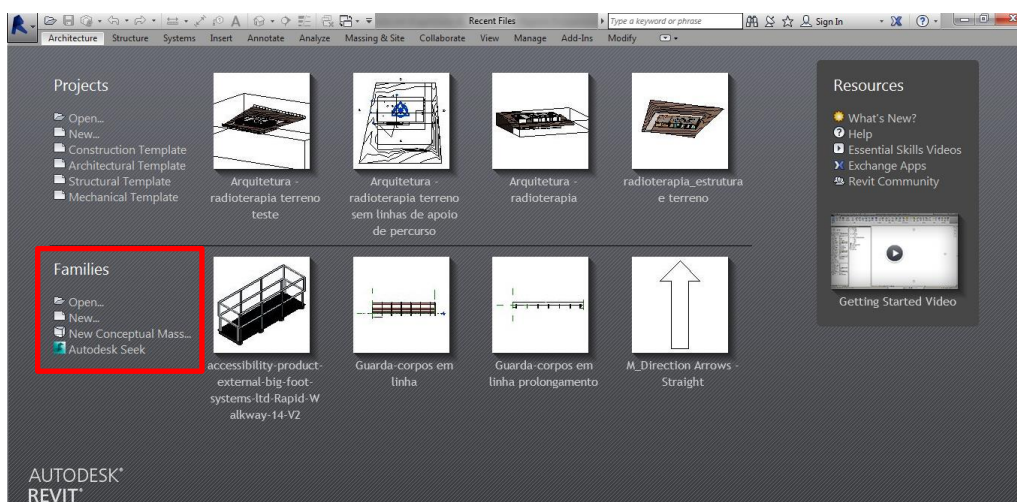


Fig. 3.27 – Interface Families

A utilização de *templates* pré-definidos são a forma mais rápida de criar uma família, pois este tem definido um conjunto de planos de referência que auxiliam a elaboração do modelo, escolhendo-se o tipo de *template* de acordo com o tipo de elemento que se pretende modelar. Por exemplo, existem na biblioteca templates para a criação de pilares (*Metric Column*), portas (*metric Door*), mobília (*Metric Furniture System*), entre outros.

Numa primeira fase procedeu-se à criação do corpo vertical com sistema de aperto às lajes. Através do comando *Extrusion* deu-se forma ao elemento vertical e foram-se definindo os parâmetros necessários, nomeadamente, espessura da laje, tornando o sistema de aperto adaptável a diferentes espessuras, Figura 3.28.

Na definição dos parâmetros do elemento vertical teve que se seleccionar a propriedade *Instance*. Esta propriedade torna possível a partilha de propriedades entre famílias, sendo um passo fundamental para o desenvolvimento do sistema completo de guarda-corpos.

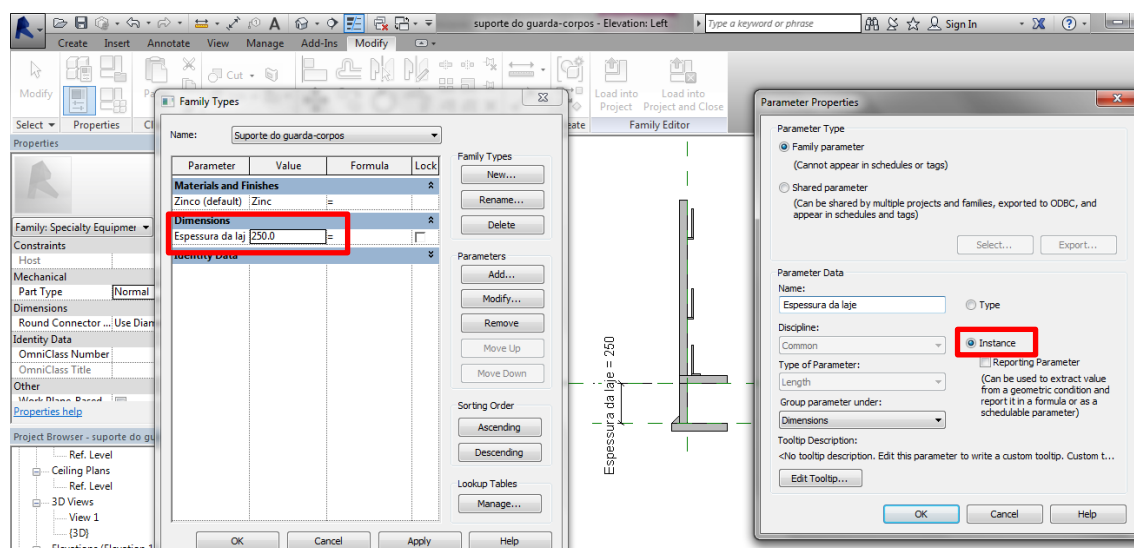


Fig. 3.28 – Definição dos parâmetros do elemento vertical que compõe o sistema guarda-corpos

Numa segunda fase abriu-se um *template Metric Generic Model Line Based* e importou-se para este o elemento vertical anteriormente modelado. A utilização deste *template* está relacionada com a necessidade de definir uma família com capacidade de ficar definida com o traçado do percurso em que se pretende a componente.

Para a correta definição desta família foi necessário fazer a correspondência entre os parâmetros definidos na família do elemento vertical e criar ainda novos parâmetros, nomeadamente:

- Espaçamento entre barras;
- Número de barras.

Contudo neste ponto surge uma nova particularidade na comunicação entre as famílias e o projeto. Uma vez que existe a pretensão de criar um mapa de quantidades de elementos de segurança, é necessário ter alguns cuidados na parametrização ao nível da partilha de informação entre os parâmetros da família e o projeto em 3D. Para haver esta partilha de comunicação os parâmetros das famílias têm que ser parâmetros partilhados. Para a sua criação recorre-se à ferramenta *Shared Parameters*, Figura 3.29.

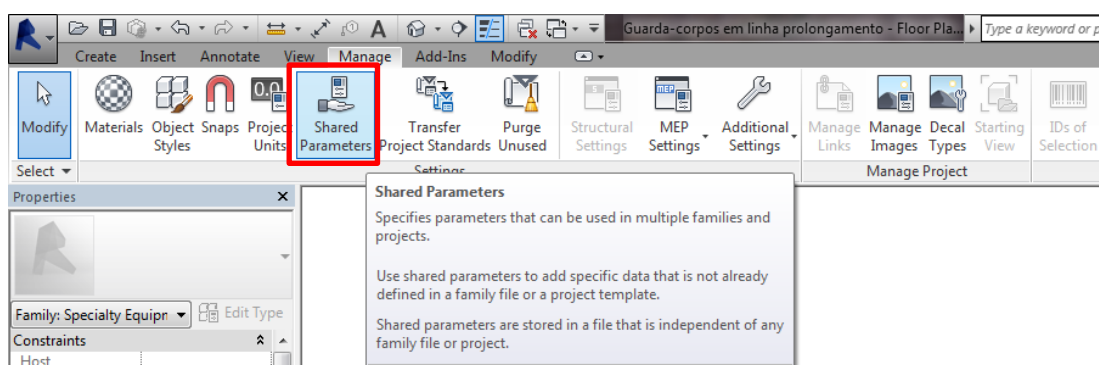


Fig. 3.29 – Comando para criação de parâmetros partilhados

Para a criação de parâmetros partilhados seguiu-se os seguintes passos, Figura 3.30:

- Criação de ficheiro de parâmetros partilhados;
- Criação de grupo de parâmetros – grupo *Specialty Equipment*;
- Criação dos parâmetros – Comprimento, espaçamento de barras; espessura de laje e número de barras.

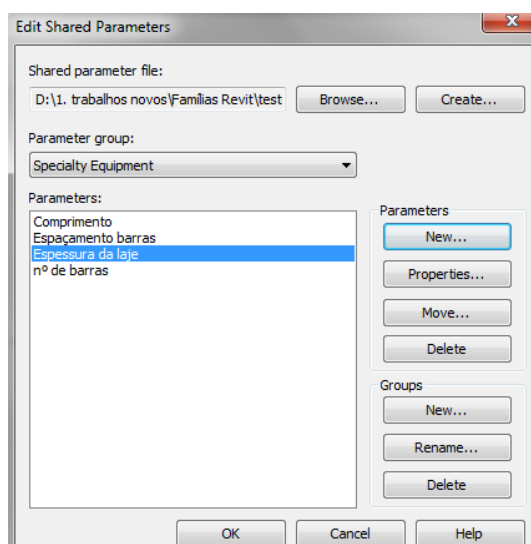


Fig. 3.30 – Edição dos parâmetros partilhados dos guarda-corpos

Antes de fazer a correspondência entre os parâmetros e o desenho utilizou-se o comando *Array* para copiar o elemento vertical, associando-se ao elemento copiado o parâmetro número de barras. Sucessivamente foi-se associando os restantes parâmetros às devidas dimensões, tendo sempre o cuidado de seleccionar o *Shared parameter* e fazendo corresponder o parâmetro pretendido ao parâmetro existente no ficheiro de parâmetros anteriormente criado, Figura 3.31

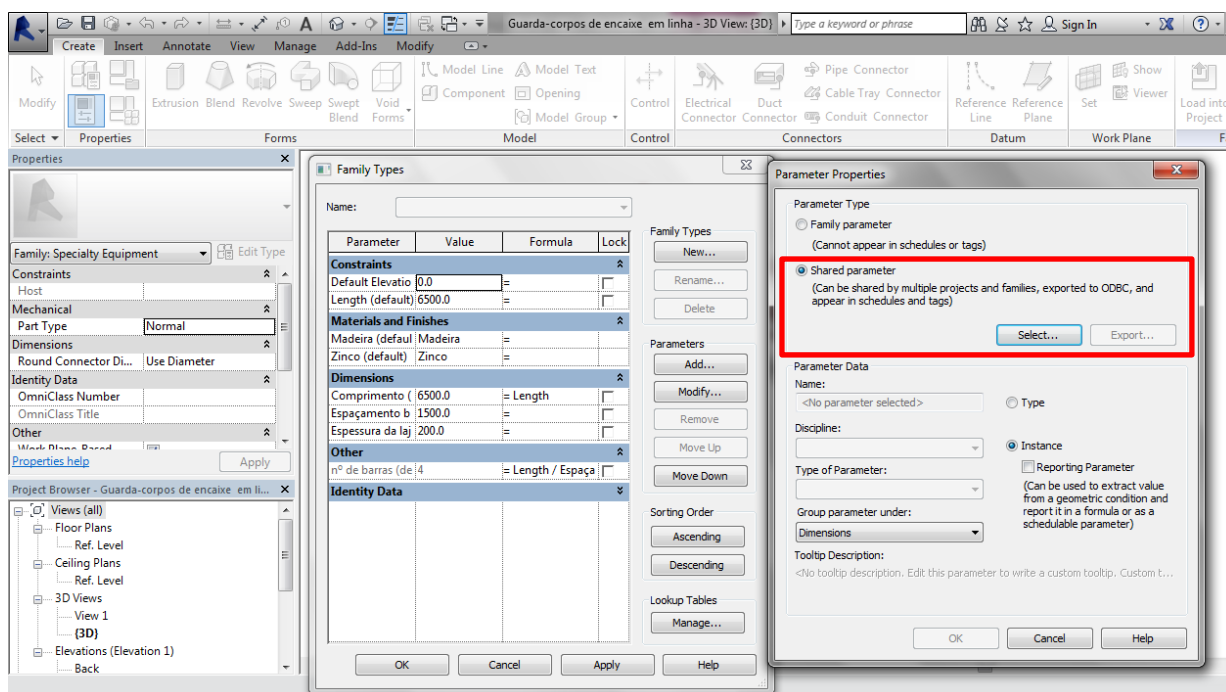


Fig. 3.31 – Associação de parâmetros do sistema guarda-corpos

Por fim, utilizou-se o comando *Extrusion* para a modelação dos elementos horizontais, Figura 3.32 e 3.33.¹⁷

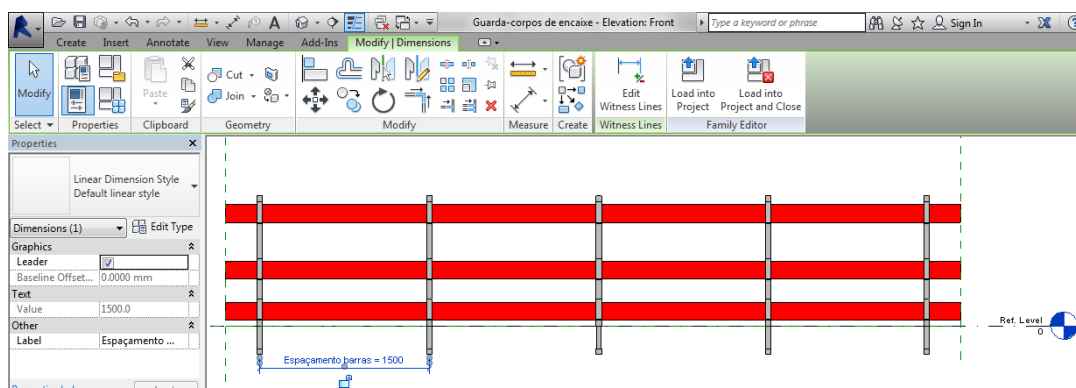


Fig. 3.32 – Alçado de guarda-corpos com sistema de aperto às lajes

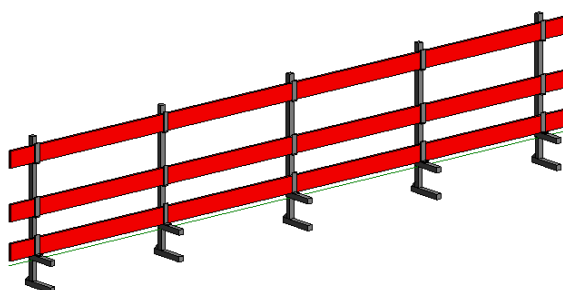


Fig. 3.33 – Guarda-corpos com sistema de aperto às lajes em 3D

Concluindo o guarda-corpos com sistema de aperto às lajes procedeu-se de forma semelhante para a elaboração do guarda corpos com sistema de encaixe em espigão, obtendo-se a solução apresentada na Figura 3.34 e 3.35.

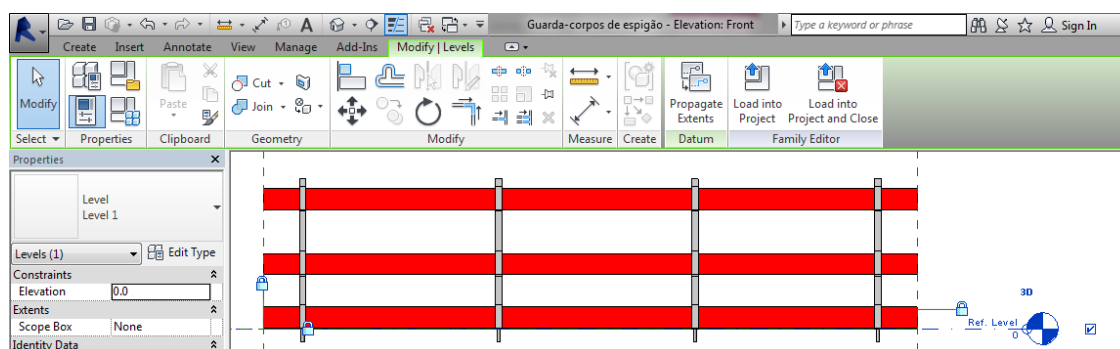


Fig. 3.34 – Alçado de guarda-corpos com sistema de encaixe em espigão

¹⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=jNF6CANVOio> (acedido em 15/05/2017)

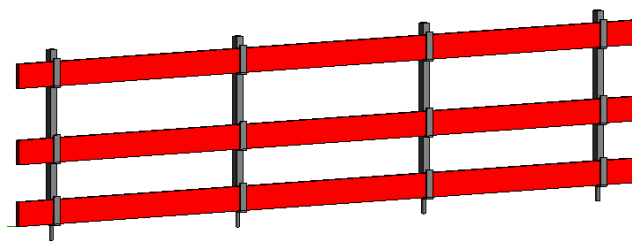


Fig. 3.35 – Guarda-corpos com encaixe em espigão em 3D

- Tamos para aberturas

Os tamos são elementos que devem ser colocados em aberturas de lajes, prevenindo a queda dos trabalhadores nas aberturas. Estes elementos normalmente são construídos no local da obra e de acordo com a abertura a tapar, podendo ser em contraplacado marítimo.

Para a modelação da família Tamos, procedeu-se à criação de um novo ficheiro de famílias, utilizando o *template Metric Generic Model*, Figura 3.36.

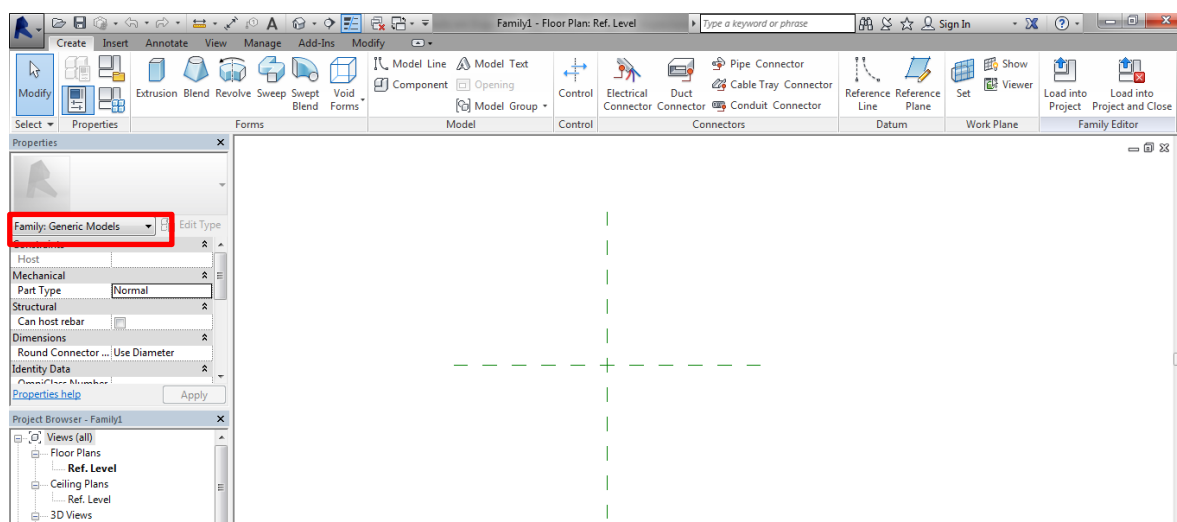


Fig. 3.36 – *Metric Generic Model* – *template* para a criação da família Tamos

Nesta família criaram-se os seguintes parâmetros partilhados, Figura 3.37 e 3.38:

- Largura;
- Comprimento;
- Espessura superior;
- Espessura dos membros inferiores;
- Aba.

Relativamente aos parâmetros largura e comprimento, sempre que se medir o valor da abertura em projeto será necessário adicionar a esse valor 200mm, pois é o valor das abas que vêm para fora do encaixe da abertura.

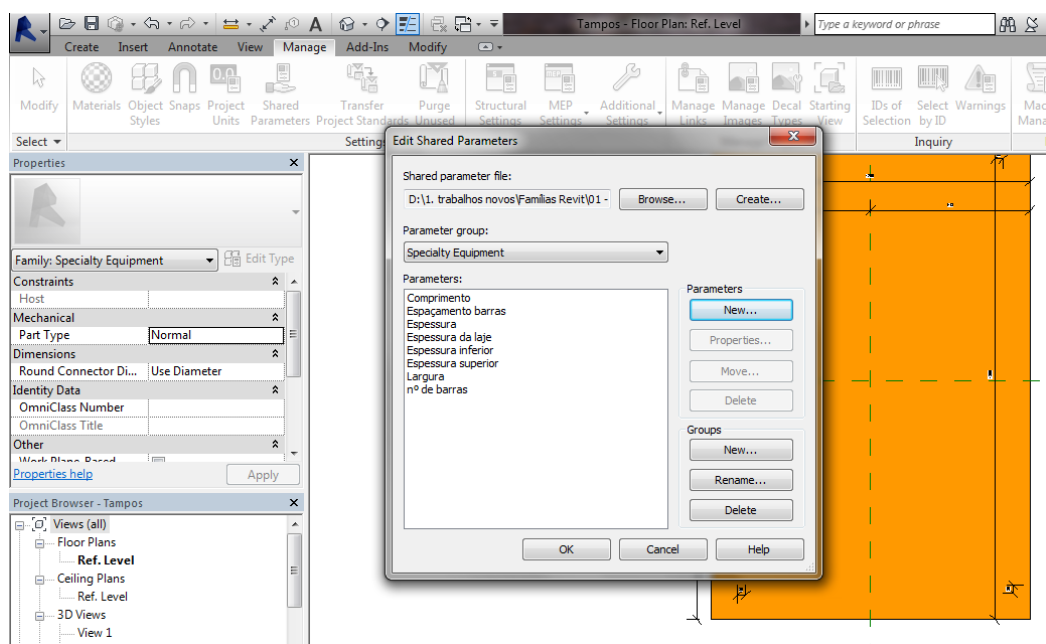


Fig. 3.37 – Edição dos parâmetros partilhados dos Tamos

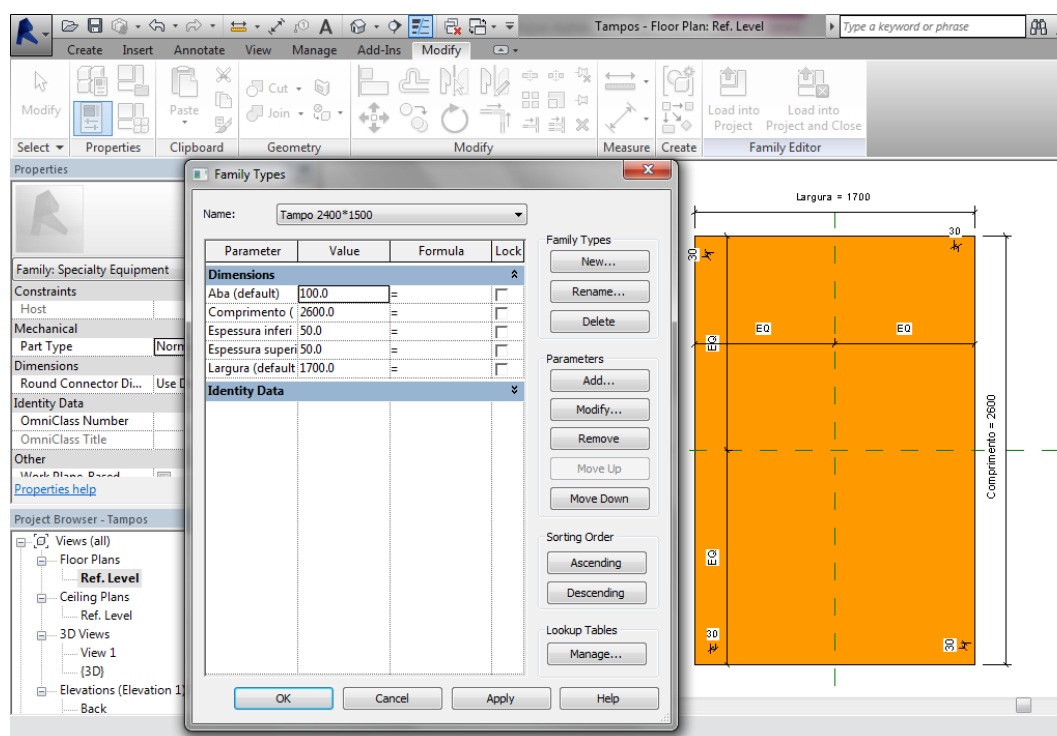


Fig. 3.38 – Parâmetros da família Tamos

No momento da importação desta família para o projeto ficam à disposição vários tamanhos de tamos, pois optou-se por criar mais do que um tipo de tampo, Figura 3.39. Também é possível observar na Figura 3.39, que se procedeu à alteração da categoria da família para *Specialty Equipment*, com o objetivo de dar uma categoria distinta às famílias de elementos de segurança.

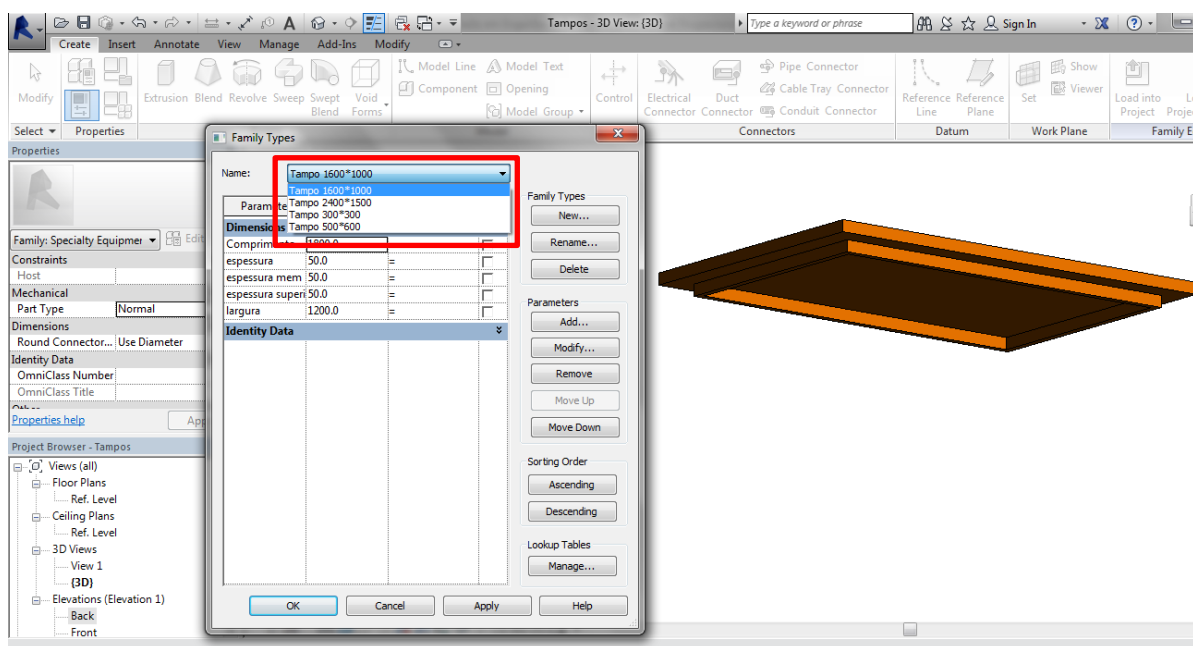


Fig. 3.39 – Modelo 3D da família Tampas, com a apresentação dos vários Tampas

- Andaimes

Os andaimes são estruturas provisórias que funcionam como uma ferramenta auxiliar na execução de obras e que ao nível de proteção dos trabalhadores contribui para a diminuição do risco de queda em altura quando devidamente montados.

Após a pesquisa em sites que fornecem famílias para o Revit, encontrou-se no site BIM&CO uma família de andaimes com um nível de pormenorização bastante detalhado, Figura 3.40. Logo optou-se por utilizar essa família para incorporar nos modelos, realizando as alterações necessárias ao andaime, adequando-o à realidade do projeto.

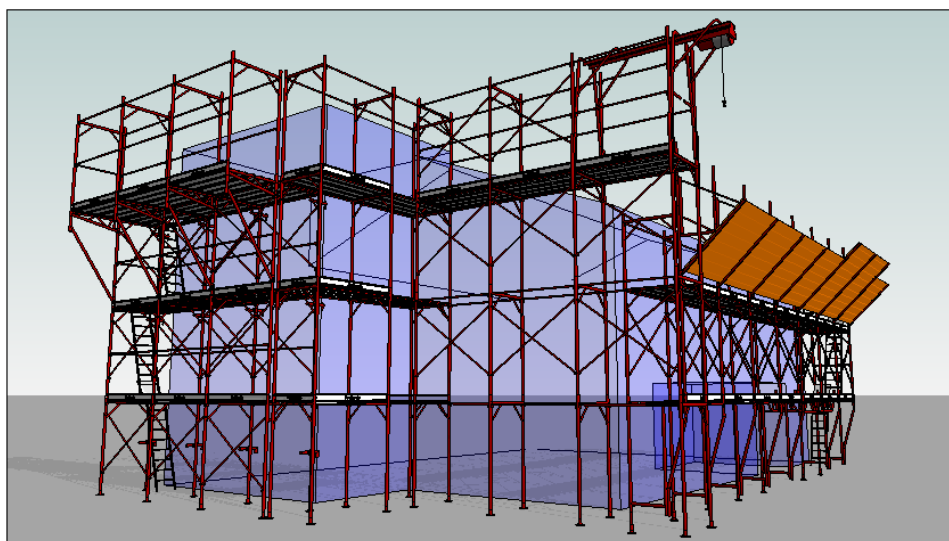


Fig. 3.40 – Andaime em 3D

Outra solução adotada e que tem uma função similar aos andaimes são as plataformas elevatórias, Figura 3.41, estas são frequentemente utilizadas quando existem dificuldades na montagem de andaimes em boas condições de segurança. Esta solução foi implementada na fachada posterior do edifício, junto das escadas exteriores.

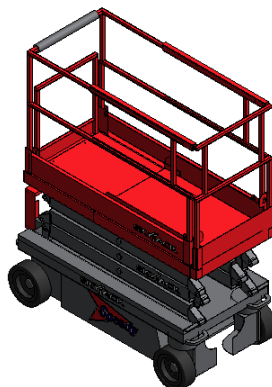


Fig. 3.41 – Plataforma elevatória

3.2.6.4 Incorporação de elementos de segurança nos modelos

Terminado o processo de modelação/alteração dos elementos de segurança procedeu-se à inserção destes elementos nos modelos 3D. Observando o esquema da Figura 3.42, verifica-se que alguns elementos de segurança foram inseridos no modelo de estabilidade e outros no modelo de arquitetura, optando-se por esta solução pois os diferentes elementos de segurança são necessários em fases distintas da obra. Por exemplo, no momento de colocação de guarda-corpos no bordo de lajes do piso 0, estes devem ser aplicados antes do início dos trabalhos de montagem de armaduras dos pilares do piso 0, logo, como são utilizados na fase de estruturas devem ser aplicados no modelo da estrutura.

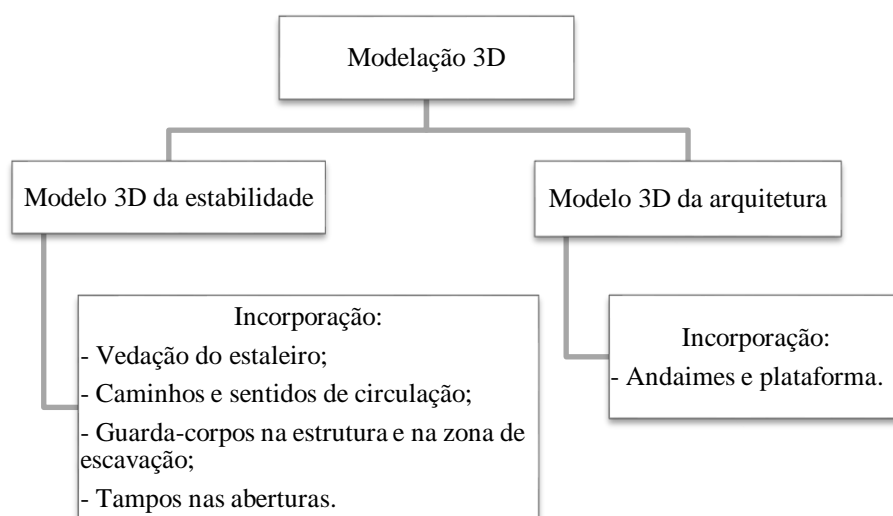


Fig. 3.42 – Esquema de trabalho de incorporação de elementos de segurança nos modelos

Da aplicação dos vários elementos de segurança aos modelos, obteve-se a solução apresentada nas Figuras 3.43, 3.44, 3.45 e 3.46.

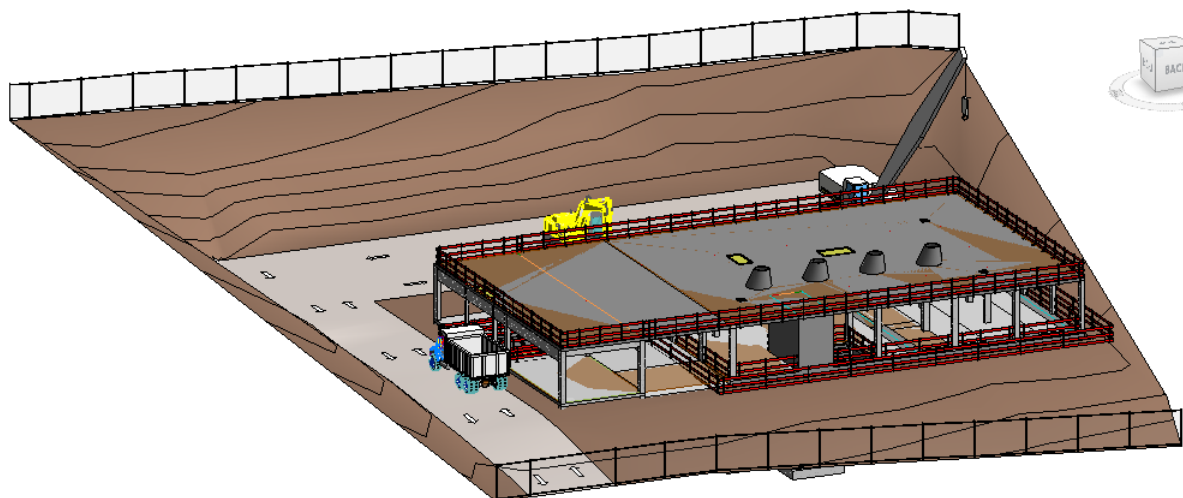


Fig. 3.43 – Vista geral do modelo estrutural e elementos de segurança em 3D

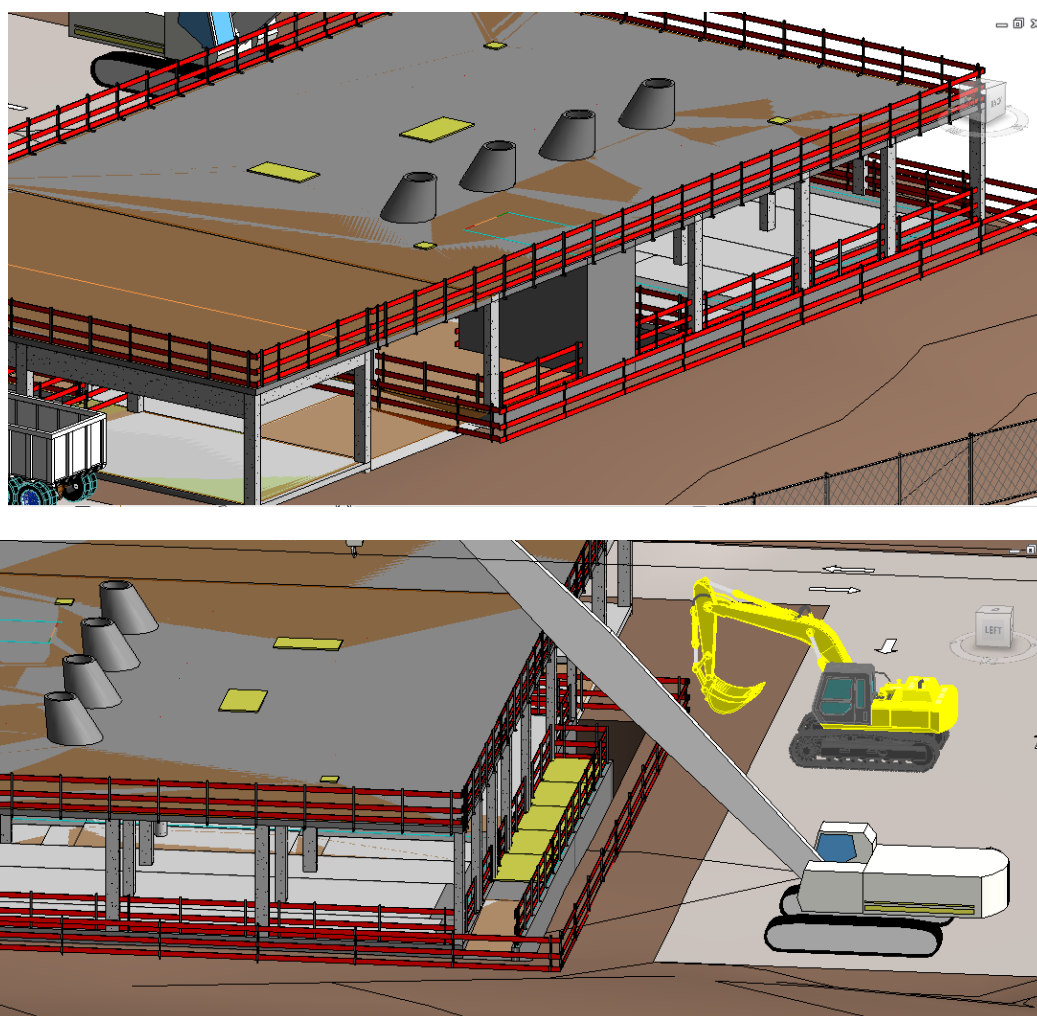


Fig. 3.44 – Vistas pormenorizadas dos elementos de segurança no modelo estrutural

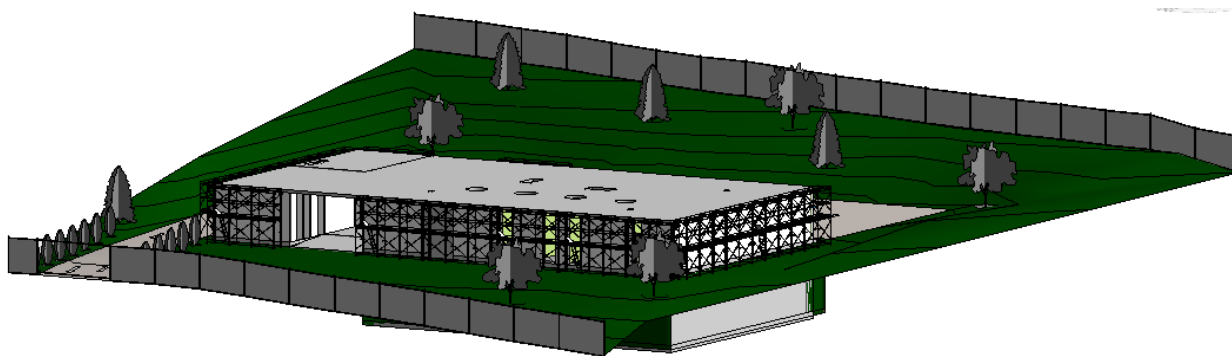


Fig. 3.45 – Vista geral do modelo de arquitetura e elementos de segurança em 3D

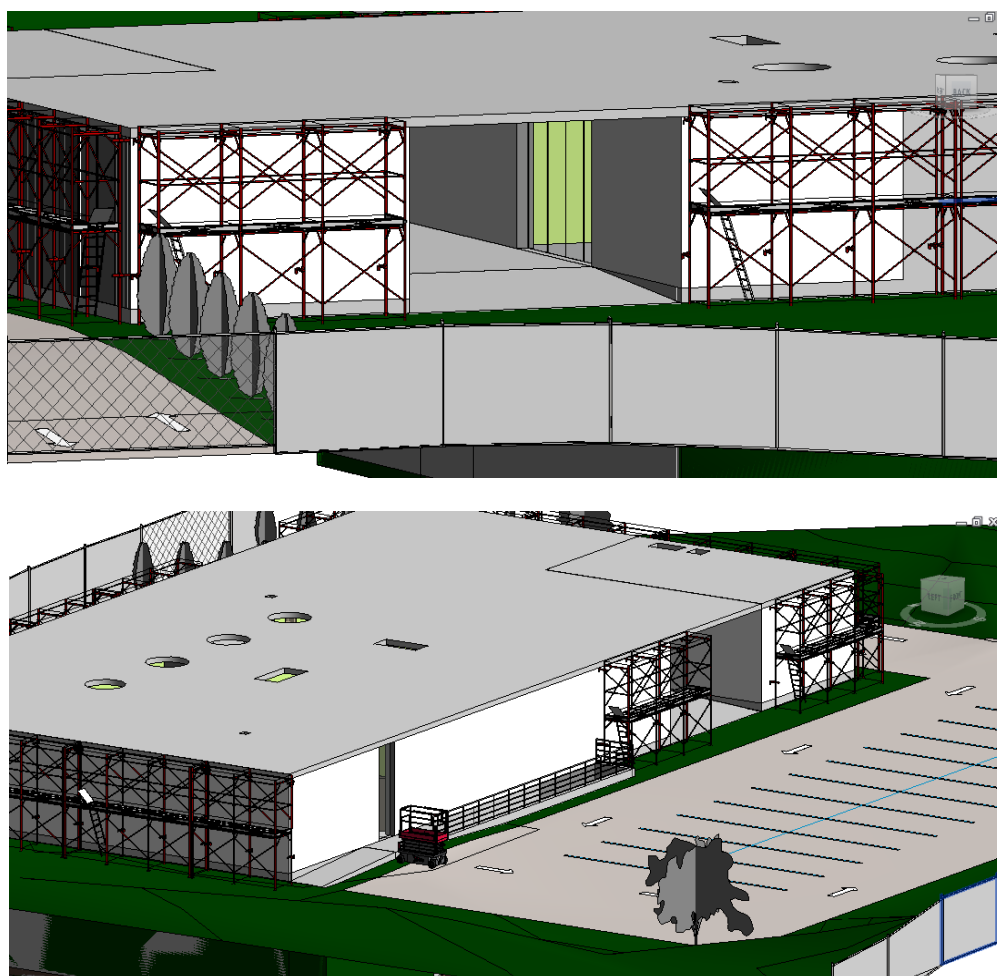


Fig. 3.46 – Vistas pormenorizadas dos elementos de segurança no modelo de arquitetura

3.2.7 Planeamento da obra

Terminada a modelação em 3D, torna-se necessário proceder ao planeamento da obra, definindo as tarefas e tempos de execução.

Considerando as possibilidades do Navisworks a nível da incorporação do planeamento de obra e apesar deste permitir a definição das tarefas diretamente no seu TimeLiner, optou-se por definir o

planeamento no Microsoft Excel para posterior importação. Tomando esta opção, com o intuito de testar a interoperabilidade entre o Navisworks e o Microsoft Excel.

Devido à interface e à compatibilidade que existe com o Excel, torna o processo de definição/manipulação das tarefas e das suas sequências mais célere.

No Excel definiram-se as principais tarefas da obra, a duração, as datas de início e de fim esperadas para cada tarefa e definiu-se que o dia de trabalho começa às 8h e termina às 17h.

Inicialmente procedeu-se à definição das tarefas de construção e só posteriormente é que se integraram as tarefas denominadas temporárias e que correspondem à colocação de guarda-corpos, caminhos de circulação, tampos, andaimes e máquinas.

Por trás de todo o planeamento de obra tem que existir um conhecimento alargado da atividade, pois só assim se torna possível a definição realista da sequência de trabalhos. Quando se opta por introduzir no planeamento estruturas temporárias e outros elementos que contribuem para a segurança, tem que se ter um pensamento crítico no momento de colocação e remoção dos elementos, pois estes têm períodos de permanência em obra bastante distintos. Por exemplo, a colocação dos guarda-corpos no piso 0 inicia-se na mesma data, contudo estes são removidos em fases diferentes, porque a arquitetura do edifício assim o exige. Focando a zona técnica com pé-direito duplo, Figura 3.47, verifica-se que os guarda-corpos só podem ser totalmente retirados quando se iniciar a construção das paredes, pois há a possibilidade de queda em altura para dentro da zona técnica. Ao longo deste edifício a maioria dos guarda-corpos ao nível do piso 0 podem ser desmontados a partir do momento em que são feitas as impermeabilizações das paredes da cave e o respetivo aterro junto dessas paredes. Contudo, são as situações particulares que exigem maior atenção, demonstrando que um bom planeamento exige um grande conhecimento da arquitetura/especialidades, dos métodos construtivos e dos tempos necessários para a construção.

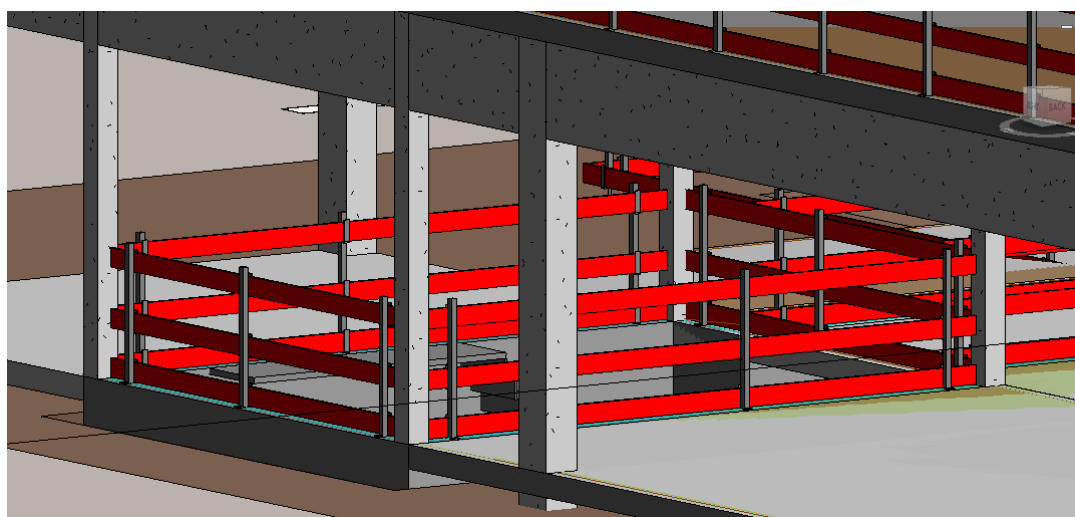


Fig. 3.47 – Zona técnica

Na construção do planeamento também foi necessário pormenorizar o tipo de tarefa, ou seja, tarefa de demolição, construção ou temporária, sendo esta informação relevante para o Navisworks a

nível da representação gráfica dos elementos na fase de simulação da construção. Tendo o tipo de tarefa os seguintes significados gráficos:

- Construção (*construct*): quando a tarefa inicia, os elementos referentes à tarefa são exibidos em verde transparente e no momento em que termina são exibidos com a cor normal do modelo;
- Demolição (*demolish*): os elementos começam por aparecer em vermelho transparente e no fim da tarefa desaparecem;
- Temporária (*temporary*): no caso de construção temporária os elementos são representados em amarelo e no fim da data definida estes elementos desaparecem.

Na Tabela 3.10 encontra-se um pequeno excerto do planeamento definido para a obra em causa, estando a versão completa nos anexos.

Tabela 3.10 – Planeamento da obra

Task ID	Type	Title	Duration	Task ID Predecessors	Expected Start	Expected End
1	Demolish	Limpeza do terreno	4		28-06-2017 08:00	03-07-2017 17:00
2	Temporary	Máquinas de escavação			28-07-2017 08:00	11-07-2017 17:00
3	Temporary	Vedação de estaleiro e caminhos de circulação	1	1	04-07-2017 08:00	21-06-2018 17:00
4	Demolish	Escavação	5	3	05-07-2017 08:00	11-07-2017 17:00
5	Temporary	Colocação de guarda-corpos na zona de escavação	1	4	12-07-2017 08:00	21-02-2018 17:00
6	Temporary	Grua		4	12-07-2017 08:00	06-04-2018 17:00
7	Construct	Fundações do Bunker	12	5	12-07-2017 08:00	27-07-2017 17:00
8	Construct	Fundações do piso -1	7	7	28-07-2017 08:00	04-08-2017 17:00
9	Construct	Fundações zona técnica	5	8	08-08-2017 08:00	14-08-2017 17:00
10	Construct	Muros de suporte do Bunker	24	9	15-08-2017 08:00	15-09-2017 17:00
11	Construct	Muros de suporte do piso -1	12	10	18-09-2017 08:00	03-10-2017 17:00
12	Construct	Muros de suporte da zona técnica	10	11	04-10-2017 08:00	17-10-2017 17:00

3.2.8 Modelação 4D da obra

Para a modelação 4D deste projeto utilizou-se o *software* Autodesk Navisworks Manage, que é frequentemente utilizado para revisão de projeto, permitindo a análise, simulação e verificação da compatibilidade entre especialidades.

Os projetos criados em *software* de modelação como o Revit, podem ser combinados no Navisworks, dando origem a um único modelo designado de Modelo Composto (*Composite Model*). Sobre este modelo é possível utilizar um conjunto de ferramentas capazes de detetar conflitos entre os diversos projetos e combinar a coordenação espacial com o cronograma da obra, obtendo-se assim um Modelo 4D (Autodesk, 2012).

Apesar de todas as potencialidades deste *software* o principal foco deste trabalho reside na componente 4D da metodologia BIM, ou seja, no planeamento e simulação da construção ao longo do tempo. Para este efeito é necessário associar aos modelos em 3D o cronograma da obra, tal como vem explicitado na Figura 3.48.

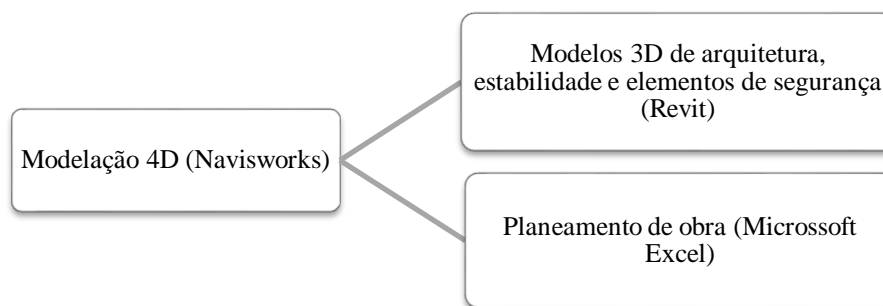


Fig. 3.48 – Esquema de trabalho do Modelo 4D

3.2.8.1 Processo de modelação 4D

Para a incorporação dos Modelos 3D no Navisworks existem dois processos possíveis, ou se abre diretamente o ficheiro em RVT no Navisworks, ou no Revit converte-se os ficheiros RVT para NWC, tal como vem apresentado na Figura 3.49. Em ambos os processos vai-se acabar por trabalhar com ficheiros em NWC, pois no primeiro caso o Navisworks acaba por criar automaticamente os ficheiros em NWC dos modelos.

Neste caso optou-se por converter os ficheiros no Revit para NWC, tal como na Figura 3.49.

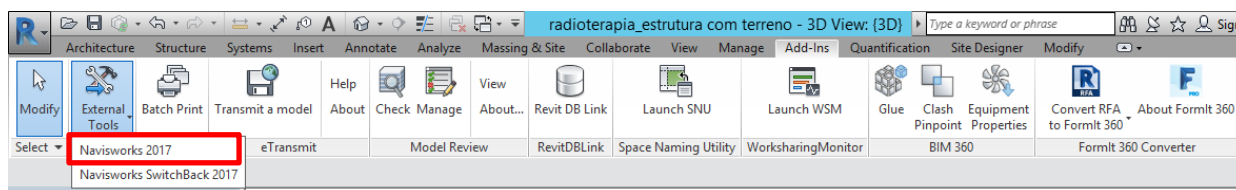
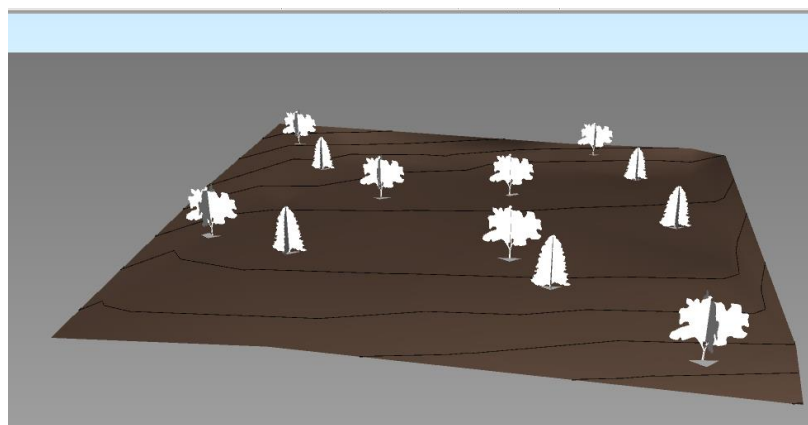


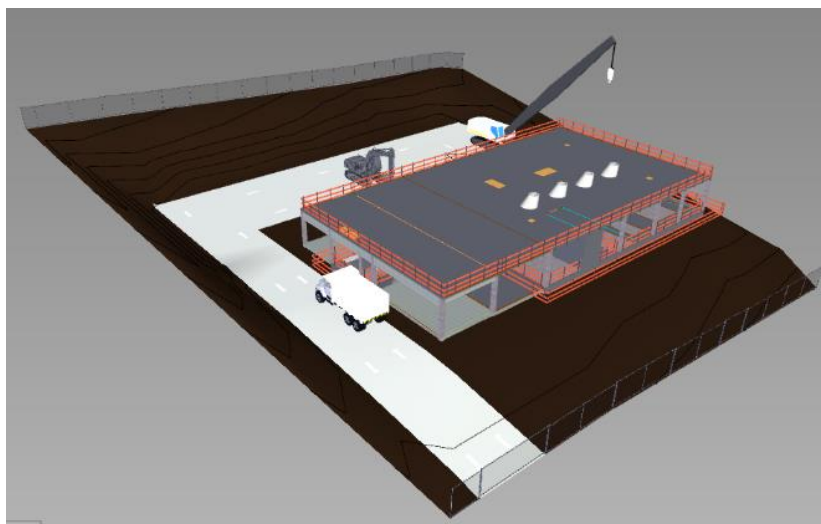
Fig. 3.49 – Conversão dos ficheiros RVT para NWC

Para criar o Modelo Composto (*Composite Model*), procedeu-se à abertura dos modelos em 3D no Navisworks. Tendo em conta que nesta fase se pretende transmitir o máximo de informação visual possível, optou-se por incorporar neste modelo a topografia inicial do terreno antes da obra, verificando-se as sucessivas alterações na topografia ao longo da execução da obra.

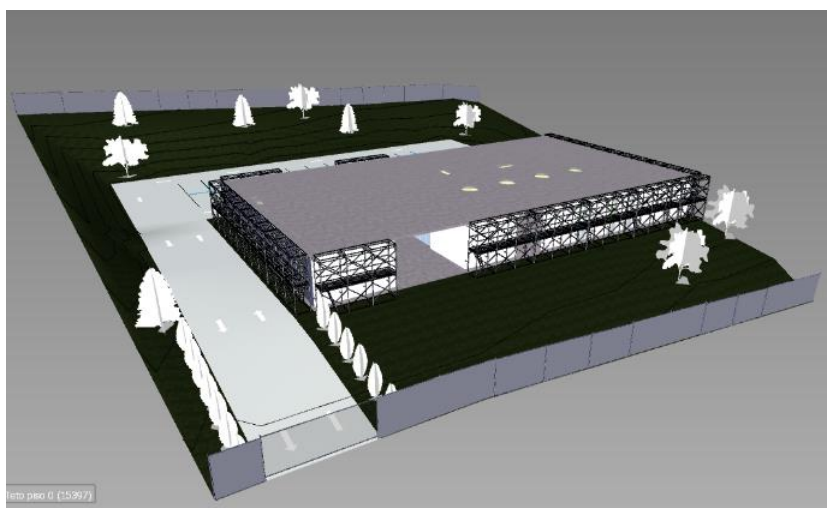
Após a incorporação dos modelos no Navisworks, Figura 3.50, verificou-se que os vários modelos ficaram sobreposto. Nesta fase foi necessário garantir que os modelos estavam devidamente alinhados, procedendo ao seu alinhamento utilizando as ferramentas do Navisworks para o devido efeito.



a)



b)



c)

Fig. 3.50 – Navisworks: a)Topografia, b) Estabilidade, c) Arquitetura

Com a combinação dos modelos e estando estes devidamente alinhados obteve-se o Modelo Composto, Figura 3.51, bastando para finalizar esta operação guardar o ficheiro como NWF.



Fig. 3.51 – Modelo Composto – Navisworks

O passo seguinte para a criação dum modelo 4D passa pela criação de *Sets*, que são seleções de determinados grupos de itens/objetos definidos pela autora do trabalho, e que permitem posteriormente executar variadas ações sobre estes conjuntos.

A seleção dos elementos desenhados para incorporação nos *Sets* pode ser agilizada através da barra *Selection Tree*, que contém a informação de todos os projetos, estando os elementos (pilares, vigas, etc.) agrupados por pisos, Figura 3.52. Desta forma, torna-se mais rápida a localização e seleção dos elementos pretendidos para cada *Set*.

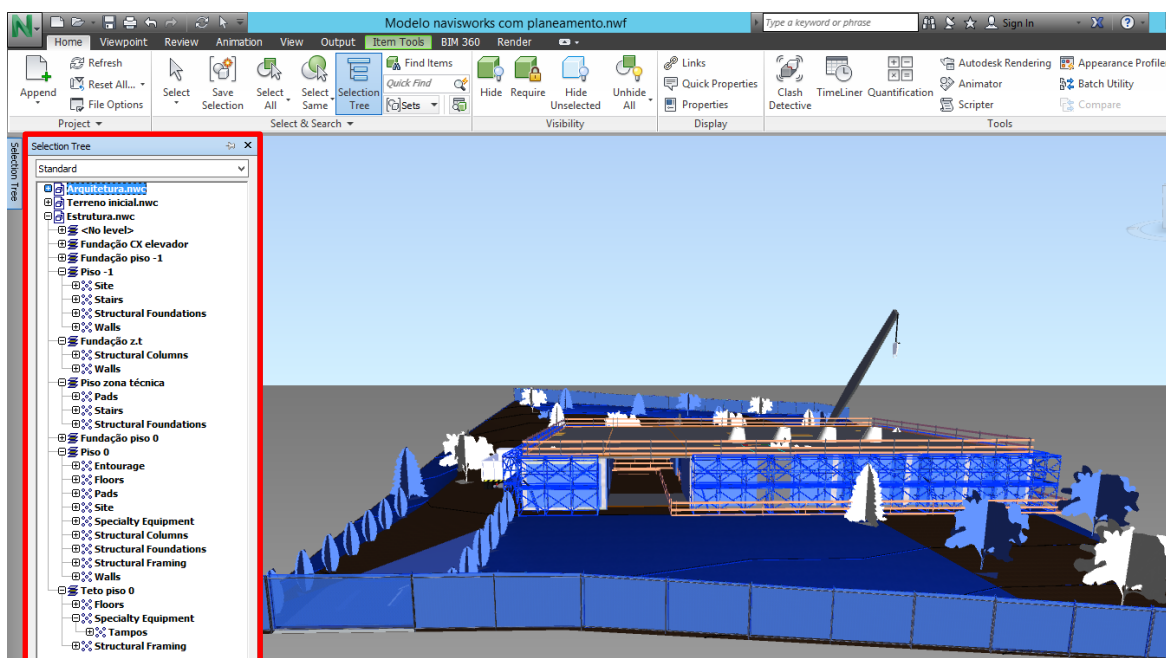


Fig. 3.52 – *Selection Tree*

Para o presente trabalho os *Sets* são de grande utilidade, pois permitem associar os elementos desejados ao cronograma da obra. Por exemplo, tendo como tarefa a construção de pilares do piso 0, cria-se um *Set* denominado de pilares do piso 0, guardando neste todos os pilares referentes ao piso em causa. Na Figura 3.53 apresentam-se os vários *Sets* criados para este projeto.

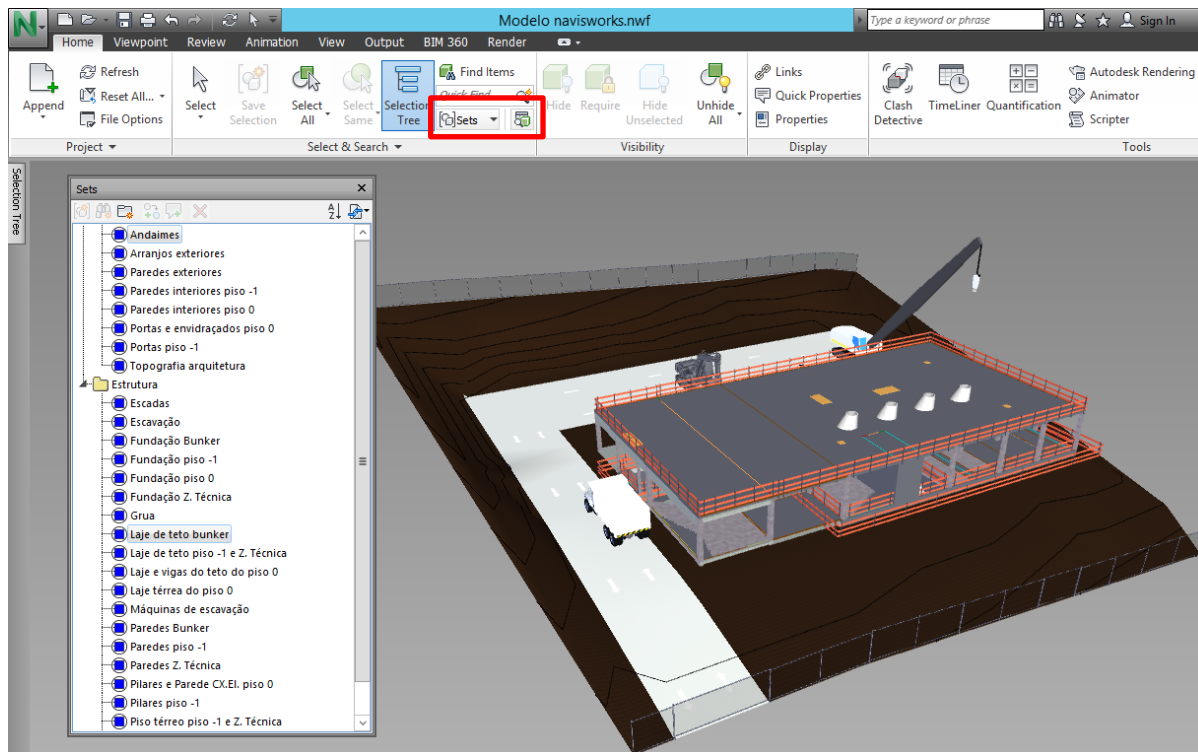


Fig. 3.53 – Definição de *Sets* no Navisworks

Criados os *Sets*, procede-se à importação do planeamento que foi elaborado em Excel. Contudo, antes de se proceder à sua importação é necessário guardar o ficheiro Excel num ficheiro CSV e de seguida abrir este ficheiro no Notepad e substituir os pontos e vírgulas (;) por vírgulas (.). Somente após este passo é que se torna possível o reconhecimento entre os títulos e informação das colunas do Excel com as colunas do *TimeLiner* no Navisworks.

Abrindo o *TimeLiner* e adicionando no *Data Sources* o link do ficheiro em Excel (CSV) aparece a janela apresenta na Figura 3.54, onde tem que se fazer corresponder a informação das colunas do Excel com os títulos das colunas do *TimeLiner*.

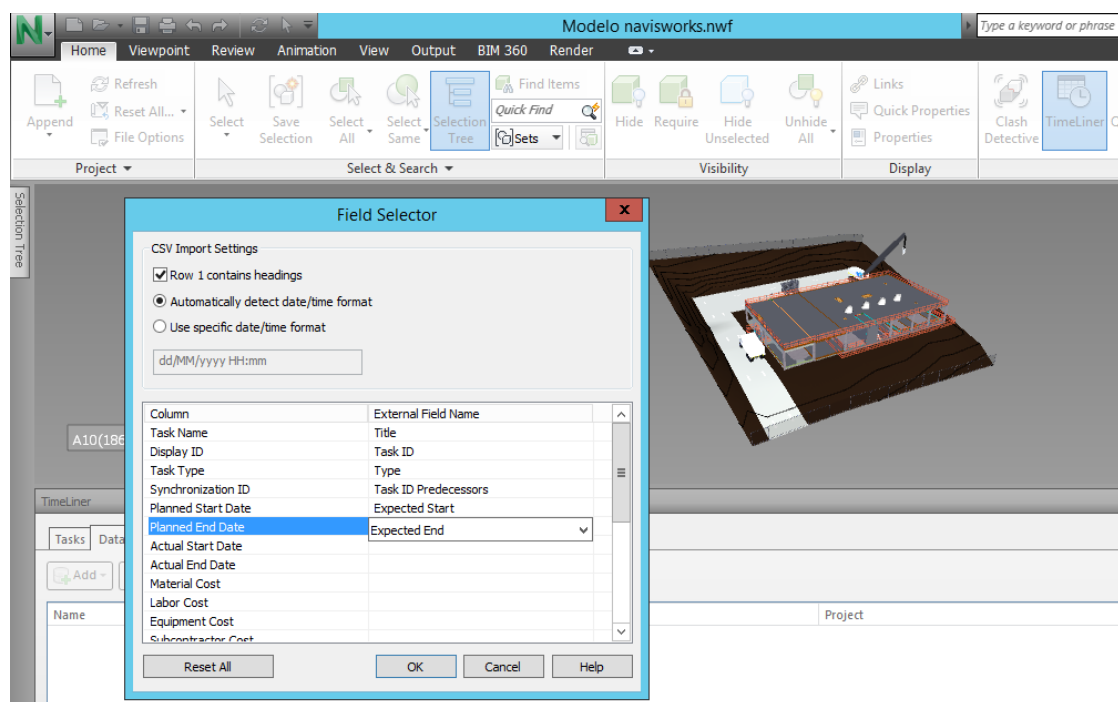


Fig. 3.54 – Importação do ficheiro Excel para o NISWORKS

Seguidamente basta carregar sobre o ficheiro e seleccionar o comando *Rebuild Task Hierarchy*, gerando desta forma o cronograma da obra no *TimeLiner*, Figura 3.55. Além do cronograma também é possível observar o gráfico de Gantt que foi gerado simultaneamente, Figura 3.55.

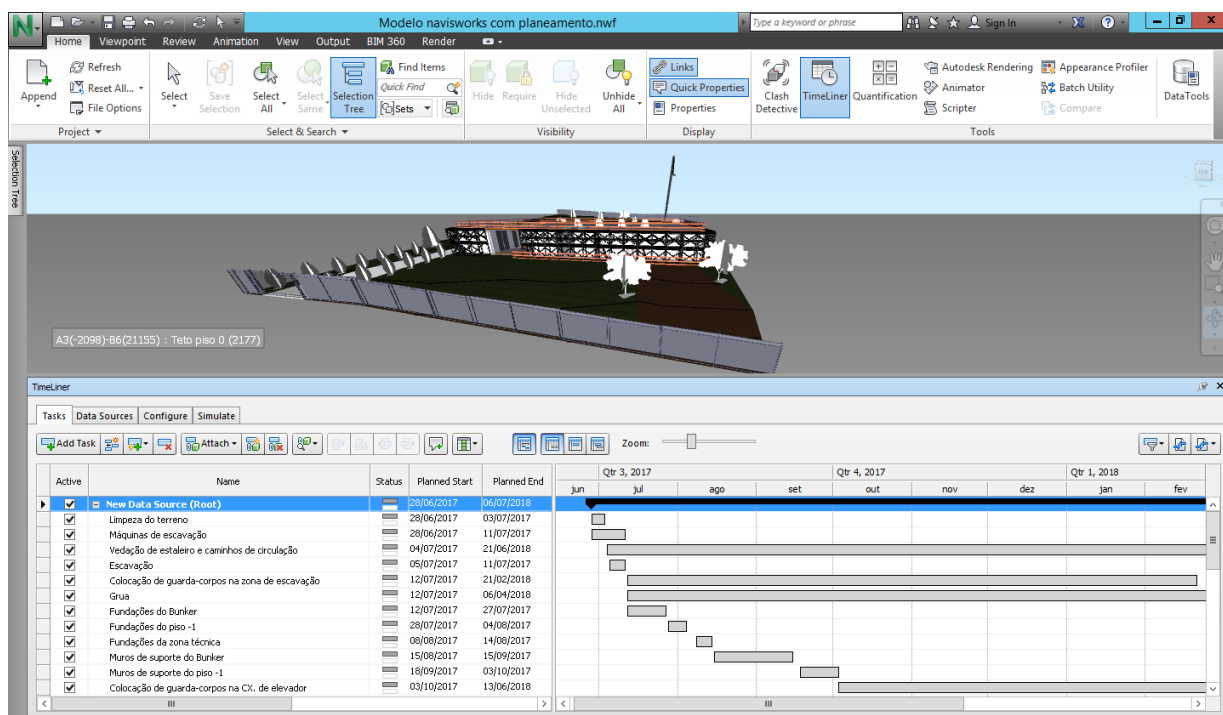


Fig. 3.55 – Cronograma da obra no NISWORKS

Nesta fase ligam-se os *Sets* criados anteriormente com as atividades que compõe o cronograma da obra, Figura 3.56. Para as estruturas temporárias optou-se por selecionar diretamente os elementos no desenho e adicioná-los manualmente às tarefas, testando assim duas possíveis formas de ligar os elementos desenhados às tarefas do cronograma.

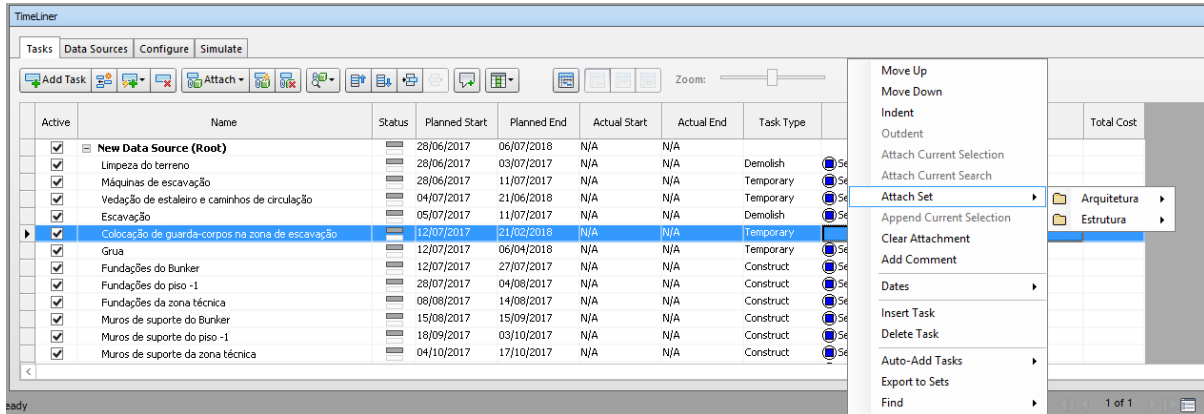


Fig. 3.56 – Associação dos *Sets* às tarefas do cronograma

Após a realização de todo o processo anterior obtém-se o cronograma apresentado na Figura 3.57 onde se observa a descrição das tarefas, as datas de início/fim previsto, o tipo de tarefa (demolição, construção ou temporária), a associação dos elementos desenhados às tarefas e o gráfico de Gantt.

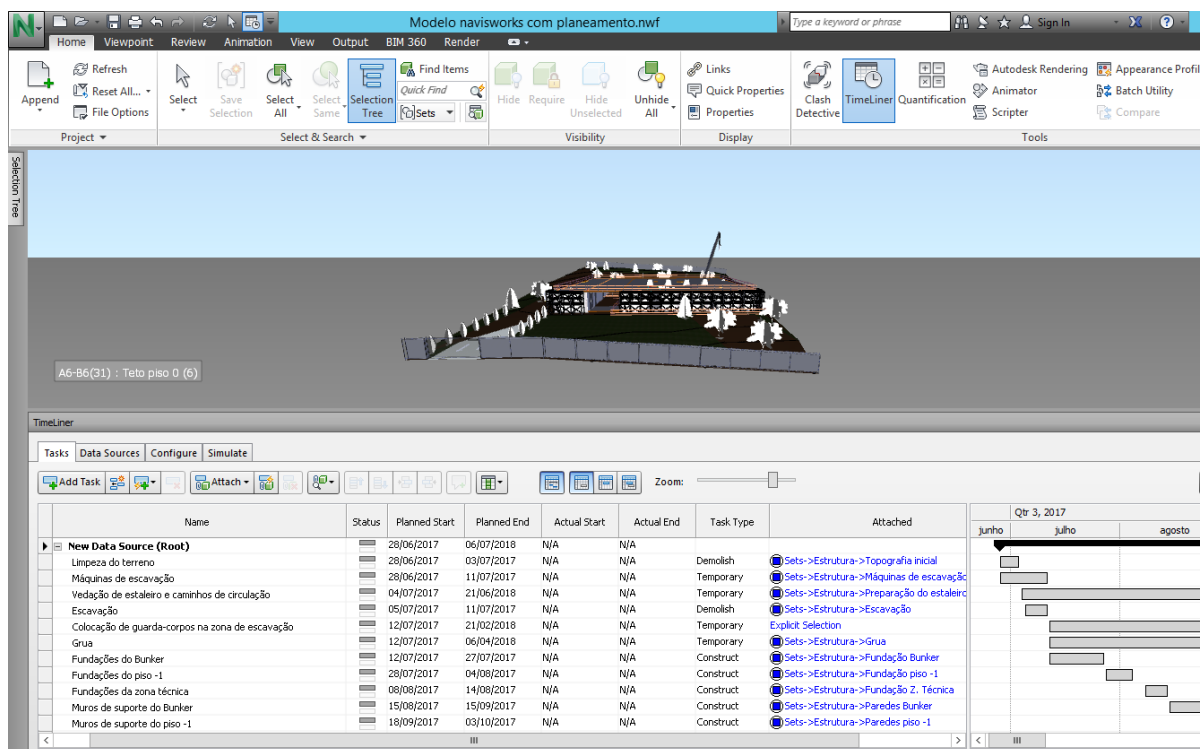


Fig. 3.57 – Cronograma final da obra no Navisworks

Considerando as funcionalidades do Navisworks, muitas vezes há necessidade de proceder a alterações nos projetos originais, porque há incompatibilidades entre projetos, porque um elemento construtivo ficou mal definido, ou porque se querem testar novas soluções. Sempre que se efetua uma alteração nos projetos CAD originais, o Navisworks possui a capacidade de automaticamente realizar as atualizações das alterações através do comando *Refresh*. Contudo, isto só é possível se a localização dos ficheiros CAD originais estiveram na pasta de destino que o Navisworks tem referenciado nas propriedades, Figura 3.58.

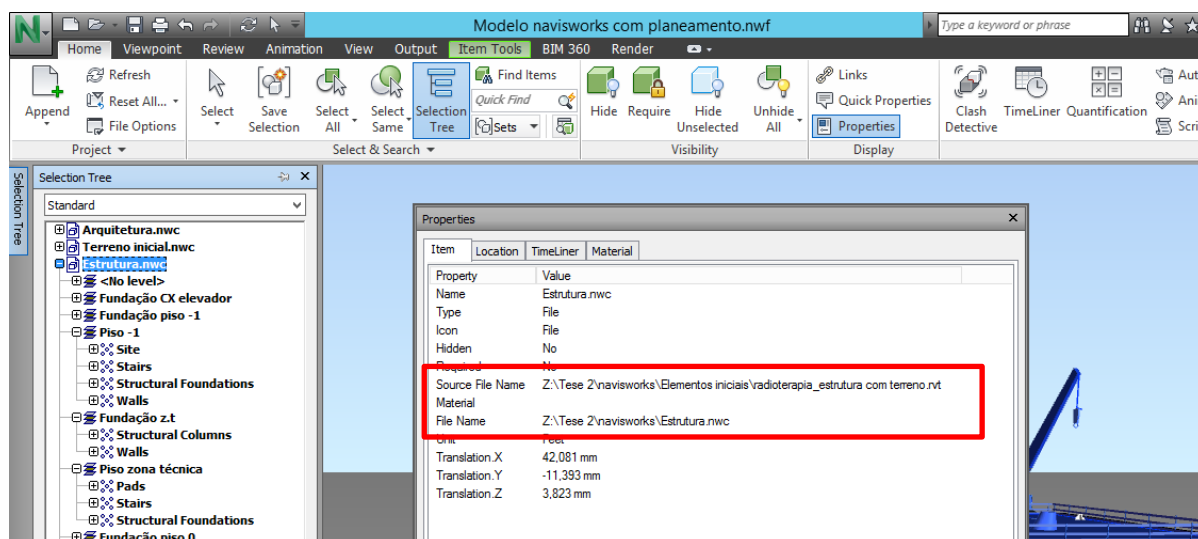


Fig. 3.58 – Localização dos ficheiros CAD (Revit) nas propriedades do Navisworks

3.2.8.2 A segurança no modelo 4D

No processo de modelação 4D foram incluídos vários elementos de segurança (andaimos, guarda-corpos, tampos, caminhos de circulação, vedação de estaleiro) e, sendo estes de elevada importância para a execução em segurança de uma obra, foram tidos em consideração no cronograma da obra. Porém, além destes elementos aparecerem no cronograma e na simulação do planeamento, achou-se que seria uma mais valia destacar estes elementos, utilizando para isso outras ferramentas disponíveis no Navisworks.

Para realçar a importância destes elementos recorreu-se a duas ferramentas, nomeadamente, comentários e *links*.

- Comentários (*Comments*)

A ferramenta comentários pode ser utilizada em *viewpoints*, *viewpoints animations*, *sets*, *clash results* e em tarefas do *TimeLiner*.

Para este trabalho optou-se por adicionar comentários a algumas tarefas do *TimeLiner* que estão relacionadas com os elementos de segurança, tais como, guarda-corpos e andaimos, referindo no

comentário a necessidade de consultar as fichas de segurança específicas da tarefa (fichas elaboradas anteriormente), conforme se pode ver na Figura 3.59.

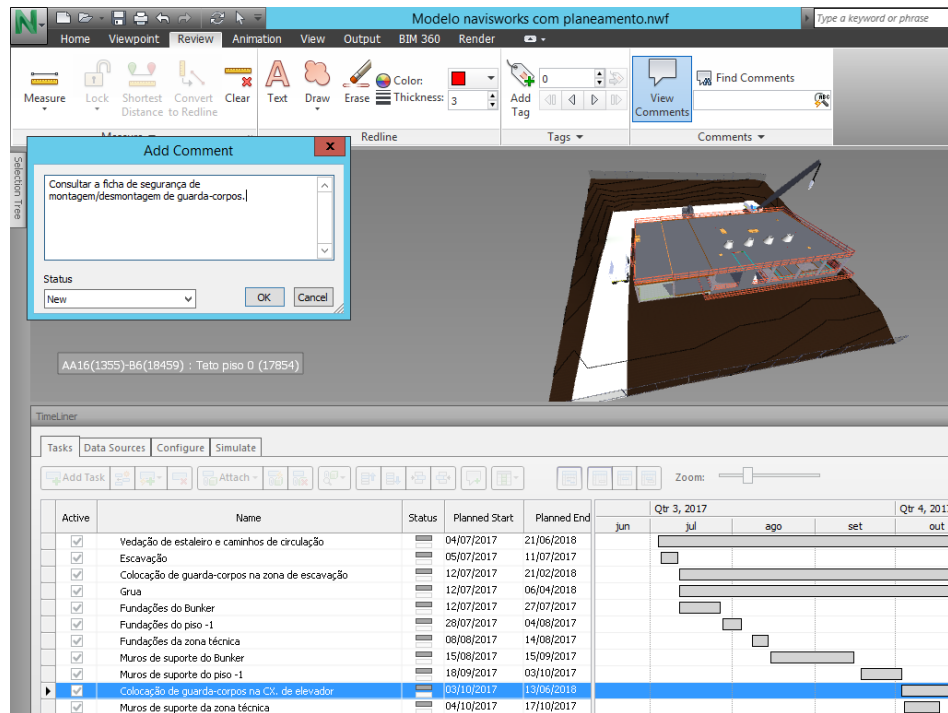


Fig. 3.59 – Comentários nas tarefas do *TimeLiner*

A consulta dos comentários adicionados às tarefas pode ser feita de duas formas, ou selecciona-se a tarefa no *TimeLiner* e utiliza-se a ferramenta *View Comments do Ribbon*, ou faz-se uma procura em *Find Coments* para encontrar todos os comentários adicionados a todas as tarefas do *TimeLiner*, Figura 3.60.

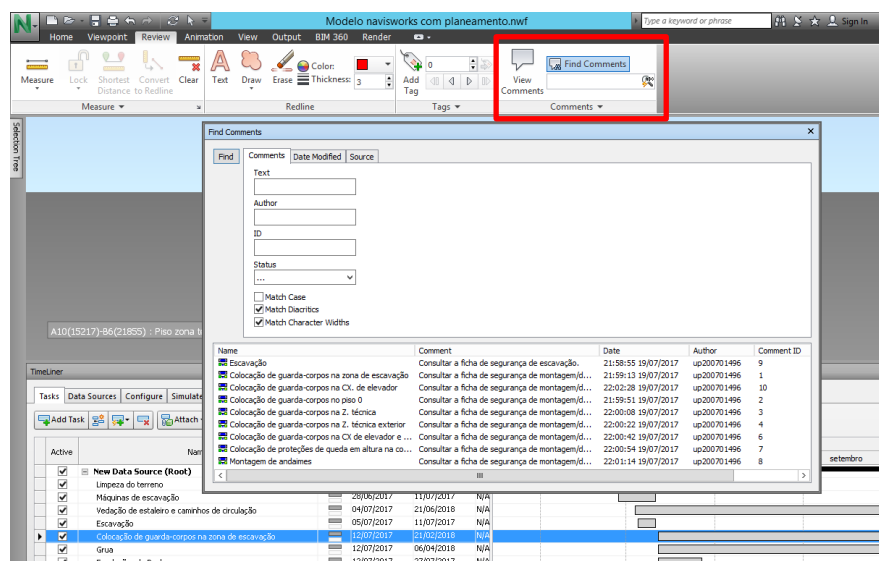


Fig. 3.60 – Localização dos comentários

- *Links*

No Navisworks existem várias fontes de *links*: *links* originais convertidos dos ficheiros nativos do CAD; *links* adicionados pelos utilizadores do Navisworks e *links* gerados automaticamente pelo programa (por exemplo: *links de Selection Set*, *links de viewpoint*, *links das tarefas do TimeLiner*).

Existem dois tipos de categorias de *links* no Navisworks: padrão e os definidos pelo utilizador. Os *links* padrão são divididos nas seguintes categorias: *Hiperlink*, *Label*, *Viewpoints*, *Clash Detective*, *TimeLiner*, *Sets* e *Redline tags*. Por padrão, todos os *links*, exceto os *Labels*, são representados como ícones na *Scene View*. Os *Labels* são representados como texto (Autodesk, 2012).

A ativação da visualização dos links é feita no *Ribbon* através da ferramenta *Links*, Figura 3.61.

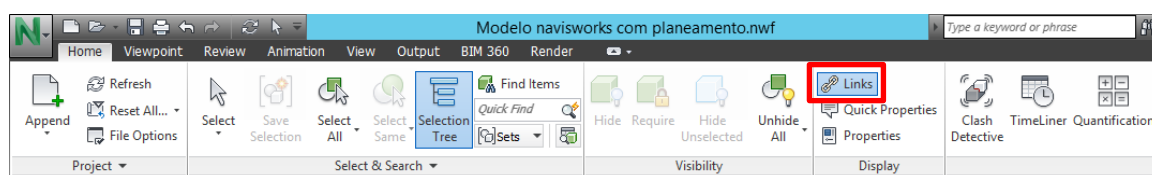
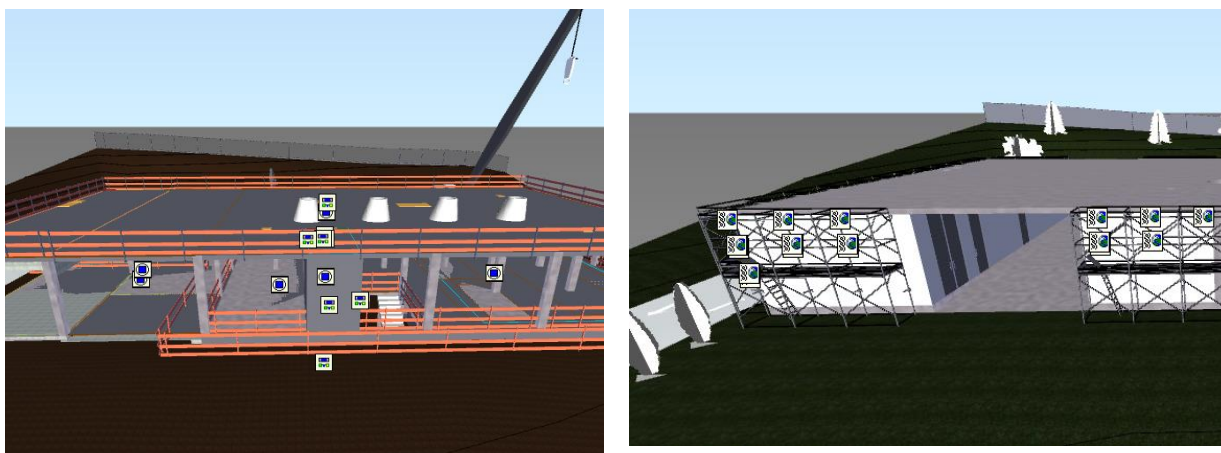


Fig. 3.61 – Ativação dos *Links*

Na Figura 3.62, apresenta-se uma imagem de alguns *links* existentes no projeto de estabilidade e de arquitetura.



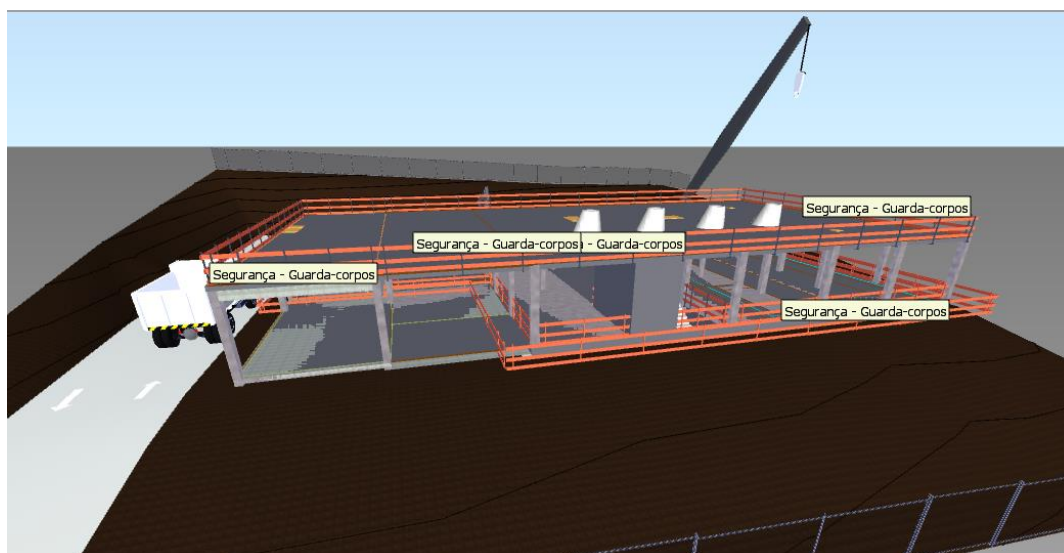
a) b)
Fig. 3.62 – *Links* - a) Modelo de estabilidade, b) Modelo de arquitetura

Ao adicionar *links* manualmente a objetos o projetista consegue fornecer dados e informações específicas sobre o objeto, como por exemplo: dados de fabricantes, manuais de equipamentos, fichas de segurança, fotografias de equipamentos e descrições.

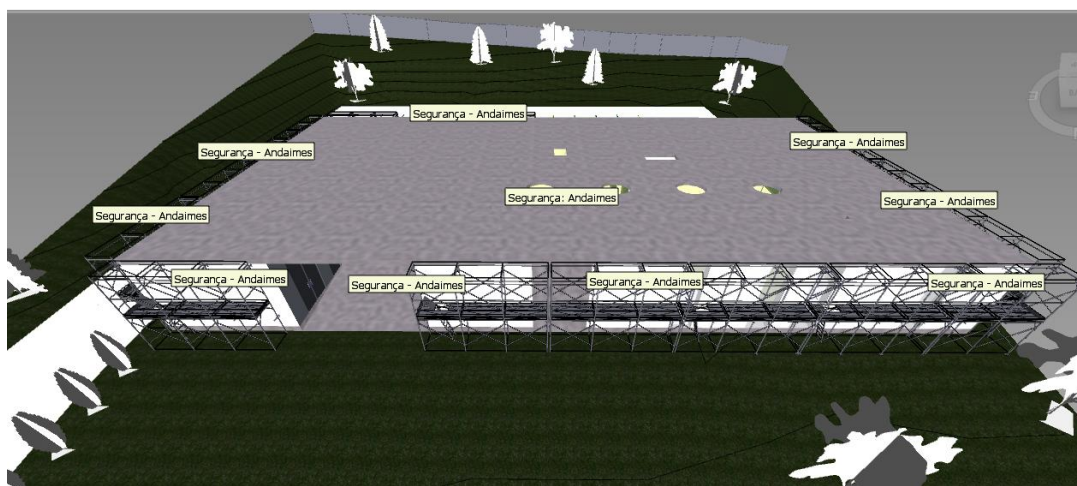
Neste estudo optou-se por adicionar aos guarda-corpos e aos andaimes *links* com hiperligações para as fichas de segurança, anteriormente elaboradas, fornecendo informação sobre as medidas

de segurança a ter na montagem e desmontagem dos elementos e os perigos a que os trabalhadores estão sujeitos nestas tarefas.

Selecionando o elemento ao qual se pretende ligar o *link*, basta carregar no botão direito do rato e seleccionar *Links – Add link*. Para aceder à informação associada ao *link* basta clicar sobre o *link* e ele abre a respetiva ficha de segurança. Na Figura 3.63 é possível observar os *links* que foram adicionados pela autora referentes às medidas de segurança.



a)



b)

Fig. 3.63 – *Links* de segurança - a) Modelo de estabilidade, b) Modelo de arquitetura

PARTE 2

4 RESULTADOS

4.1 Quantificação dos elementos de segurança

Do trabalho desenvolvido ao nível dos elementos de segurança, foi possível extrair a partir do Revit mapas de quantidades das famílias criadas pela autora, nomeadamente guarda-corpos e tampos, pois estas foram modeladas tendo em consideração a partilha de informação de parâmetros para posterior quantificação. Os mapas de quantidades são apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Mapa de quantidades dos Tampos

Specialty Equipment - Tampos								
Level	Family	Type	Count	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Aba (mm)	Espessura inferior (mm)	Espessura superior (mm)
Piso 0	Tampos	Tampo 2400*1500	1	1700	2600	100	50	50
	Tampos	Tampo 2400*1500	1	1700	2600	100	50	50
	Tampos	Tampo 2400*1500	1	1700	2600	100	50	50
	Tampos	Tampo 2400*1500	1	1700	2600	100	50	50
	Tampos	Tampo 2620*1500	1	1700	2820	100	50	50
Teto piso 0	Tampos	Tampo 300*300	1	500	500	100	50	50
	Tampos	Tampo 300*300	1	500	500	100	50	50
	Tampos	Tampo 300*300	1	500	500	100	50	50
	Tampos	Tampo 1800*800	1	1000	2000	100	50	50
	Tampos	Tampo 2000*989	1	1189	2200	100	50	50
	Tampos	Tampo 600*600	1	800	800	100	50	50
	Tampos	Tampo 1198*600	1	800	1398	100	50	50

Tabela 4.2 – Mapa de quantidades dos guarda-corpos (pequeno extrato)

Specialty Equipment - Guarda-corpos					
Type	Count	Comprimento (mm)	Espaçamento barras (mm)	nº de barras	Espessura da laje (mm)
Guarda-corpos de encaixe	1	4187	1500	3	200
Guarda-corpos de encaixe	1	30920	2500	12	200
Guarda-corpos de encaixe	1	19880	2500	8	200
Guarda-corpos de encaixe	1	31020	2500	12	200
Guarda-corpos de espigão	1	4260	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	3940	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	4986	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	2980	1500	2	
Guarda-corpos de espigão	1	5700	2000	3	
Guarda-corpos de espigão	1	4200	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	4180	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	4040	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	20300	1500	14	
Guarda-corpos de espigão	1	1600	1000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	3379	2000	2	
Guarda-corpos de espigão	1	3000	2000	2	

Dos restantes elementos de segurança, andaimes e vedação de estaleiro, não foi possível a extração de quantidades, porque as famílias não estavam concebidas para partilha de informação a esse

nível. Desta forma, constata-se que quando se trabalha com famílias que não vêm por defeito na biblioteca do Revit e se recorre a bibliotecas externas, pode acontecer que os parâmetros da família não forneçam as informações pretendidas pelo utilizador ao nível da quantificação. Logo, aquando da modelação de novas famílias e no recurso a famílias elaboradas por outros autores, há que ter atenção à forma como foi feita a parametrização, averiguando se os parâmetros são partilhados.

4.2 Simulação 4D

Da incorporação dos projetos em 3D e do cronograma de obra em Excel no Navisworks chegou-se a um modelo 4D. Através do modelo 4D e da ferramenta simulação do Navisworks consegue-se acompanhar o crescimento da obra ao longo do tempo, tornando-se possível identificar visualmente as necessidades de segurança em cada momento.

Partes da simulação são apresentadas na Figura 4.1 e 4.2, onde se verifica a existência de representações gráficas distintas ao nível da cor, tendo estas representações os seguintes significados: vermelho – elemento a demolir; amarelo – estrutura temporária; verde- estrutura final.

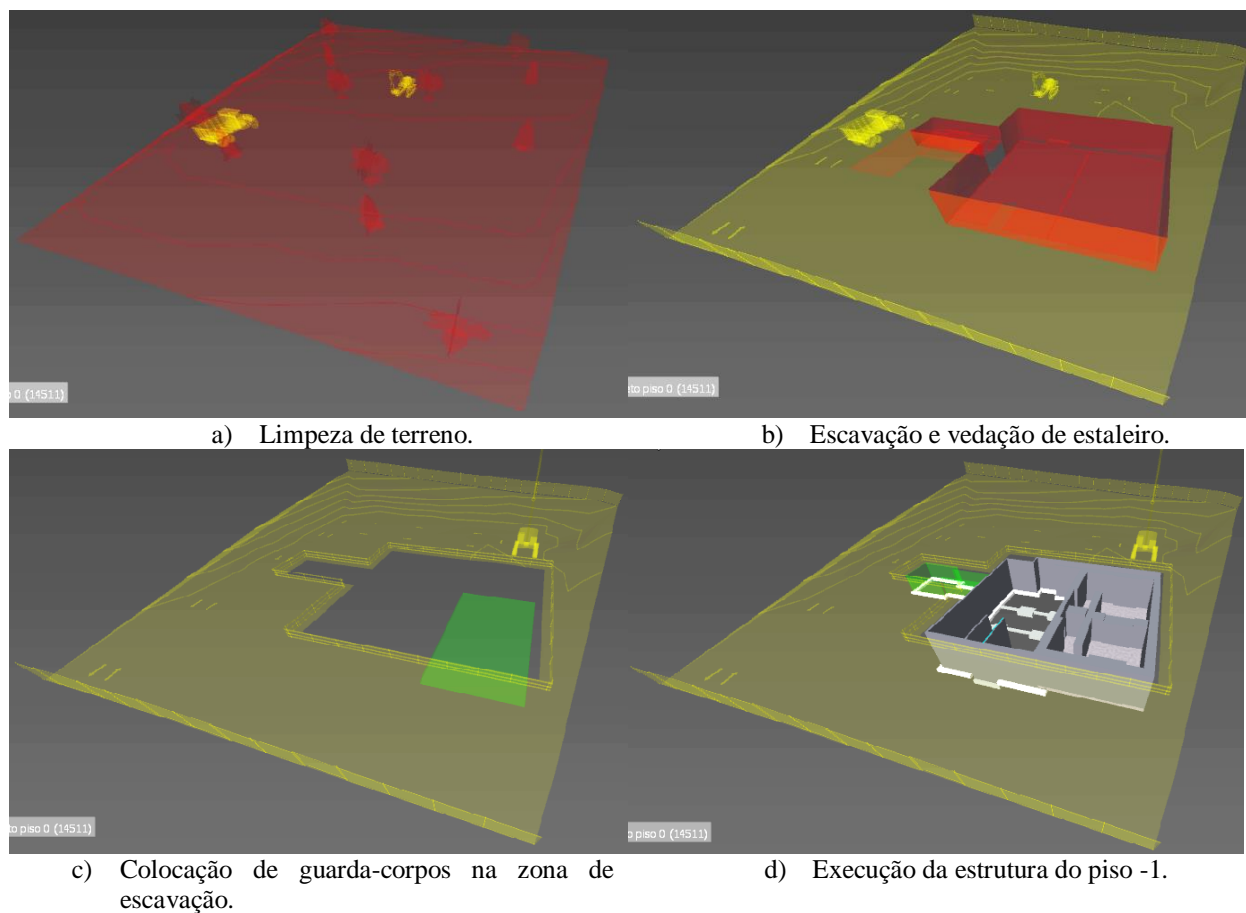
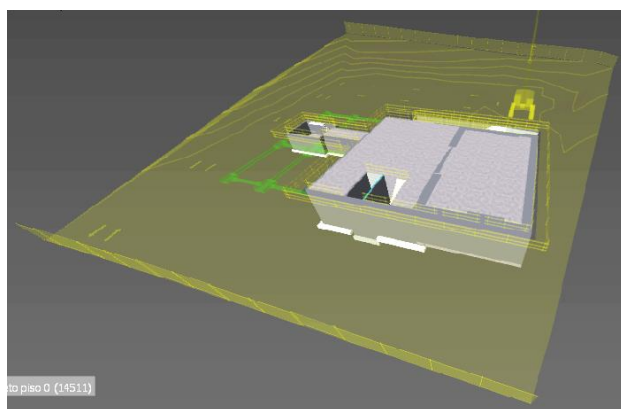
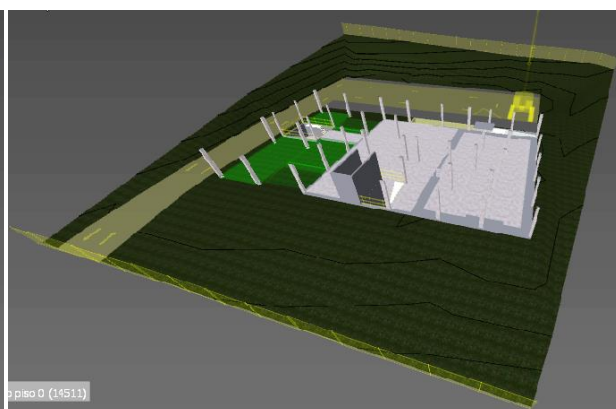


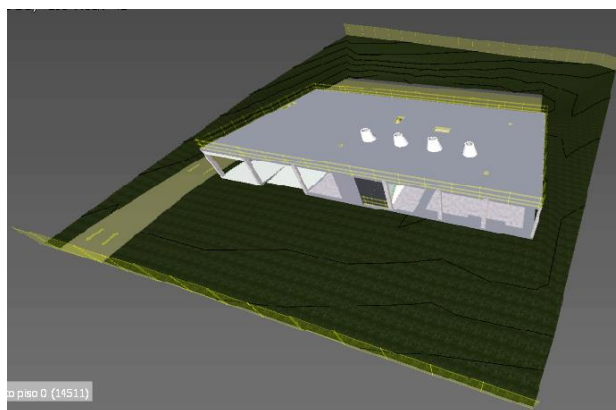
Fig. 4.1 – Simulação 4D



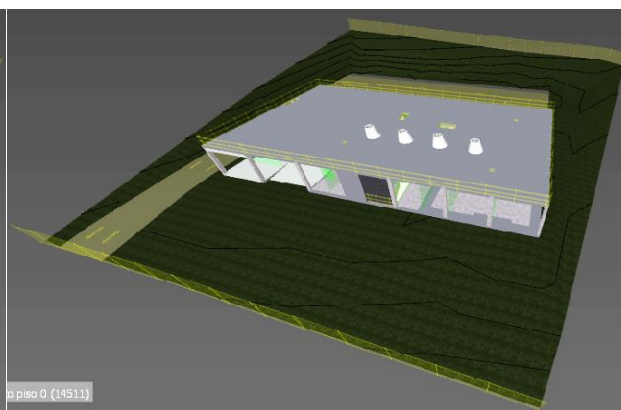
e) Colocação de guarda-corpos no piso 0.



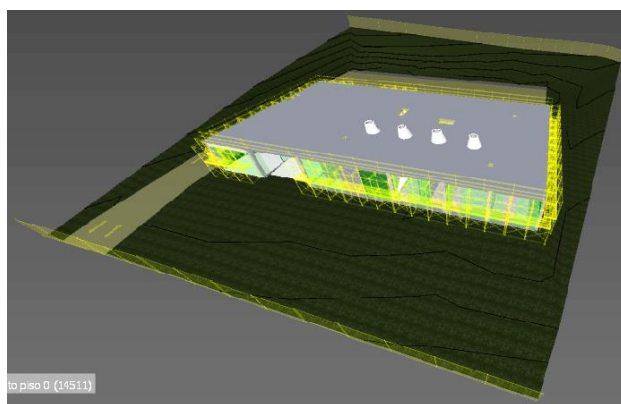
f) Impermeabilização das paredes do piso -1 e desmontagem dos guarda-corpos do piso 0.



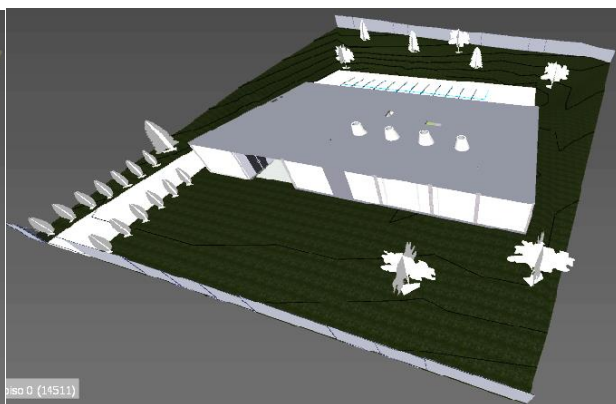
g) Colocação de guarda-corpos no teto do piso 0.



h) Execução de paredes interiores.



i) Colocação de andaimes e execução de paredes exteriores.



j) Obra concluída.

Fig. 4.2 – Simulação 4D (continuação)

4.3 Discussão dos resultados

Analisando o produto final obtido através da simulação 4D, a incorporação de comentários e *links* no modelo 4D e a quantificação de alguns elementos de segurança (guarda-corpos e tampos), verifica-se que:

- O Coordenador de Segurança e o Técnico de Segurança encontram à sua disposição todo um conjunto de informações relacionadas com a segurança num único *software*.

- Consegue-se visualizar ao longo do tempo e com antecedência quais as medidas a implementar;
- Consegue-se consultar fichas de apoio de segurança para o momento de montagem/desmontagem dos equipamentos de proteção;
- É possível verificar quais as necessidades de guarda-corpos e tampos ao longo da obra, através dos mapas de quantidades.
- Facilmente, consegue-se comparar o modelo com o que existe no local da obra e verificar se o que está previsto está a ser devidamente cumprido;
- Coloca-se à disposição do Coordenador de Segurança e do Técnico de Segurança um modelo 4D que podem apresentar aos trabalhadores no momento de formação ou reuniões, sobre os elementos que vão ser implementados;
- Devido à interoperabilidade entre os *software* utilizados, estes técnicos podem fazer alterações no modelo em 3D ao nível das soluções de segurança e estas são automaticamente atualizadas no modelo 4D, não havendo perda de informação e ficando o registo de todas as alterações efetuadas;
- Quanto mais pormenorizado for o planeamento de obra, mais informação se encontra disponível na simulação do Navisworks, permitindo maior controlo sobre a obra;
- A utilização de comentários e *links* no Navisworks permite a partilha de informação específica sobre determinados elementos, permitindo realizar chamadas de atenção para elementos ou tarefas.

A conjugação das diferentes ferramentas existentes nos *software* utilizados ao longo do desenvolvimento do caso de estudo (Revit, Excel e Navisworks), permitiram desenvolver um modelo composto por vários conjuntos de informação, contribuindo para a melhoria da implementação da segurança em obra, visando a diminuição de acidentes de trabalho.

Dentro de todo o estudo que foi desenvolvido e da expectativa que se criou acerca desta metodologia, verificou-se efetivamente a complexidade da metodologia no que concerne à obtenção final de modelos. Contudo ao nível dos resultados, esta demonstrou eficiência na capacidade de dar resposta às necessidades de consulta dos elementos de segurança a implementar, dando ainda informação sobre o momento de desmontagem destes elementos, aspeto que não seria possível visualizar através de informação em desenho 2D.

A interação com a ferramenta de simulação do Navisworks é bastante intuitiva e permite o avanço e recuo ao longo do tempo da simulação, permitindo grande controlo sobre a forma como a segurança deve ser aplicada à obra. Todo este controlo torna o processo de segurança, mais eficiente, dando menos espaço para imprevistos, sendo expectável que este controlo contribua efetivamente para a diminuição de acidente.

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

Ao longo da presente dissertação, pretendeu-se demonstrar o contributo da metodologia BIM para a implementação de medidas de segurança na fase de planeamento e de execução de obra, procurando averiguar quais as vantagens da sua utilização face às tecnologias 2D, atualmente utilizadas na implementação da segurança em obra e ainda qual o contributo desta tecnologia para a otimização de desempenho do Coordenador de Segurança e do Técnico de Segurança.

Para alcançar o objetivo traçado delineou-se uma metodologia, que comportou uma revisão sistemática para obtenção de conhecimento sobre a tecnologia BIM adotada na incorporação da segurança na fase de planeamento e gestão de obra. Após a aquisição do conhecimento sobre a metodologia BIM e a definição de alguns conceitos técnicos fundamentais para a elaboração do trabalho, optou-se por utilizar a tecnologia BIM 4D para atingir o objetivo proposto.

O conceito do BIM 4D consiste em adicionar informações de planeamento a um modelo 3D, para estabelecer a colaboração, comunicação e visualização clara das sequências de construção.

O processo de elaboração do modelo 4D, comportou o desenvolvimento de um caso de estudo de um edifício destinado à prestação de serviços na área da Radioterapia. Neste caso de estudo desenvolveram-se modelos de arquitetura e estabilidade 3D em Revit, incorporando nestes modelos elementos de segurança, como guarda-corpos, tampos, andaimes, plataformas, vedação de estaleiro e caminhos de circulação. Os elementos de segurança guarda-corpos e tampos, implicaram a completa modelação da família em Revit por parte da autora. Concluídos os modelos 3D definiu-se o cronograma da obra em Microsoft Excel, caracterizando cada uma das tarefas como demolição, temporárias ou de construção, sendo esta informação relevante para o modelo 4D a nível de representação gráfica do modelo.

No programa Navisworks Manage associaram-se os modelos em 3D e o cronograma de obra, obtendo desta forma o modelo 4D. Através do modelo 4D tornou-se possível acompanhar a evolução da obra ao longo do tempo, verificando as medidas de segurança necessárias no decorrer da obra. Além desta funcionalidade do modelo, também se exploraram outras potencialidades do Navisworks, como a introdução de comentários e de *links*, associando ao modelo fichas de segurança sobre a montagem/desmontagem das estruturas provisórias (guarda-corpos e andaimes).

Da realização deste trabalho foram várias as ilações retiradas, nomeadamente:

- A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é uma das indústrias que comporta mais riscos para os seus trabalhadores e onde as estatísticas de acidentes de trabalho apresentam o número mais elevado de acidentes mortais e graves;
- Verificou-se a interoperabilidade entre *software*, nomeadamente, entre AutoCad e Revit, entre Microsoft Excel e Navisworks e entre Revit e Navisworks;
- Constatou-se que existe uma lacuna ao nível das famílias existentes no Revit, no que concerne à segurança em obra;
- A extração de mapas de quantidades no Revit só é possível se as famílias forem definidas por parâmetros partilhados;

- A utilização de mapas de quantidades, facilita o controlo sobre a gestão de *stocks* e determinação de custos associados.
- No Navisworks Manage a utilização de comentários e de links com ligação a fichas de segurança complementam a informação, facilitando o trabalho do Coordenador de Segurança e do Técnico de Segurança, na medida que estes passam a ter acesso direto a informação de montagem/desmontagem de elementos de segurança, não tendo que recorrer a documentos externos.
- A completa simulação da obra no Navisworks, permite acompanhar a completa execução da obra com controlo temporal. Ao nível da segurança torna possível verificar em todas as fases os elementos que são necessários implementar e em que momento estes devem ser retirados, oferecendo a quem está a gerir a segurança uma visualização real do que deverá suceder ao longo do tempo.
- A simulação real permite uma gestão eficiente dos elementos de segurança, sendo estes adquiridos e colocados em obra no momento certo.
- A utilização de fichas de segurança ligadas ao modelo 4D, indica ao Coordenador de Segurança e ao Técnico de Segurança os cuidados a ter no momento da aplicação das estruturas provisórias (guarda-corpos e andaimes), fazendo com que prevejam os pontos de amarração necessários para a colocação de possíveis linhas de vida a utilizar no momento de colocação de guarda-corpos e os cuidados a ter na colocação dos andaimes. Deste modo o seu trabalho ao nível da implementação da segurança é facilitado.
- Face às tecnologias 2D altamente difundidas e utilizadas o que se verifica é que a utilização de modelos 4D permitem uma visualização e perceção mais rápida do comportamento da obra e das suas necessidades ao nível de segurança. Tornando as tomadas de decisão mais rápidas e fiáveis.
- No caso de possíveis alterações ao nível dos projetos não há perda de informação entre os diferentes intervenientes, pois os modelos são facilmente atualizados e essa atualização é feita de forma integrada e automatizada.

Com este trabalho verificou-se que o processo construtivo é um processo contínuo e como tal não deve existir separação entre fases no que concerne à segurança. Tendo em consideração a atual crescente complexidade das obras, verifica-se que a segurança não pode ser pensada e aplicada somente no momento da obra, porque esta acarreta custos que devem ser contabilizados no momento de orçamentação da empreitada.

Compreende-se que a coordenação de segurança entre todas as fases condiciona as soluções adotadas no projeto e na execução da obra e que a comunicação entre os intervenientes e a utilização de equipas multidisciplinares contribui para um processo construtivo mais eficaz e mais controlado.

Com a utilização de novas tecnologias e de metodologias como o BIM contribui-se para a otimização do processo construtivo e consegue-se aplicar medidas de segurança de forma eficaz no espaço e no tempo, existindo controlo e conhecimento em tempo real do planeamento de obra através das simulações 4D. Como tal, a metodologia BIM permite colmatar as lacunas existentes na metodologia tradicional (2D), reunindo a informação através de *software* com capacidade para atualizar automaticamente as alterações feitas aos modelos e num sistema de partilha de informação que permite a comunicação automática entre todos os intervenientes.

5.2 Dificuldades sentidas

As principais dificuldades associadas ao desenvolvimento desta dissertação estiveram na sua maioria relacionadas com a utilização dos *software* Revit e Navisworks. Ambos são *software* com grande potencial e só uma grande familiaridade com os mesmos é que permite a sua correta utilização e otimização. Ao longo do desenvolvimento dos modelos conforme ia aumentando o conhecimento da autora sobre os *software* maior partido ia retirando destas ferramentas.

No caso de desenvolvimento das famílias tampos e guarda-corpos em Revit a autora acabou por ter que repetir a modelação das famílias, porque numa primeira fase não definiu os parâmetros das famílias como parâmetros partilhados. Logo sem a utilização de parâmetros partilhados não conseguia obter mapas de quantidades.

O processo de elaboração de novas famílias é muito demorado para técnicos com pouca experiência no *software*, acabando este aspeto por condicionar a introdução de outros elementos de segurança nos modelos.

Verificou-se ao longo de todo o processo que existe uma grande escassez de famílias relacionadas com a componente de segurança e que quando existem famílias à disposição, nem sempre estão preparadas para fornecer informação para os mapas de quantidades.

Outro aspeto que exigiu atenção foi a forma de modelar. Houve o cuidado de pensar na forma como se processa a construção dos elementos construtivos na realidade para os definir no modelo. Existindo este tipo de cuidado porque o Revit não deteta falhas no processo construtivo, ou seja, se definir de uma só vez a construção de um pilar, o Revit considera que o pilar é construído de uma só vez, em vez de ser construído piso a piso como acontece na realidade, acabando esta falha de modelação por gerar problemas a nível de mapas de quantidades no Revit e na simulação do planeamento no Navisworks.

Na fase de planeamento de obra e de utilização do Navisworks o que suscitou mais dificuldade foi a definição das datas de utilização das estruturas temporárias e a definição dos *Sets* para cada tarefa do planeamento, sendo um processo demorado.

5.3 Perspetiva de trabalhos futuros

A metodologia BIM é uma metodologia de elevado potencial e de grande contributo para todas as fases de um projeto. Contudo, focando a componente de segurança sugerem-se como trabalhos futuros os seguintes:

- Desenvolver mais famílias de elementos de segurança (por exemplo sistemas de cofragem e escoramento) com parâmetros partilhados, para posterior extração de quantidades e desenvolvimento dos custos associados à segurança em obra, desenvolvendo a componente 5D do BIM;

- Desenvolvimento de modelo em Navisworks com simulação de trabalhos de escavação e de circulação de máquinas;
- Verificar a aplicabilidade de modelos BIM 4D junto de Coordenadores e Técnicos de Segurança, visando recolher informação sobre a facilidade/dificuldade de implementação da metodologia;
- Análise de casos reais de implementação de metodologia BIM e comparação com as metodologias tradicionais. Procurando averiguar as melhorias ao nível da segurança, do desempenho global da obra e do bem estar dos trabalhadores.

Extrapolando o âmbito académico seria interessante promover uma mudança sobre a forma como a segurança é encarada por todos os participantes desta área. Seria interessante se o próprio *software* Revit incorporasse uma nova especialidade dedicada à segurança. Desta forma, talvez os técnicos (arquitetos e engenheiros) fossem capazes de olhar para a segurança como uma componente indissociável do processo construtivo.

6 BIBLIOGRAFIA

- Assunção, C. F. da S. (2011). *Causas e circunstâncias dos acidentes de trabalho na Indústria da Construção*. (Tese de Mestrado de Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Autodesk. (2011). *User's Guide - Revit Architecture 2011*. Obtido de http://images.autodesk.com/adsk/files/revit_architecture_2011_user_guide_en.pdf
- Autodesk. (2012). *User Guide - Autodesk Navisworks Manage 2012*.
- Bargão, N. (2013). *Guia do Diretor de Obra na Área de Segurança*. (Tese de Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Benjaoran, V., & Bhokha, S. (2010). An integrated safety management with construction management using 4D CAD model. *Safety Science*, 48(3), 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.009>
- Cardoso, P. S. R. (2009). *Modelo de prevenção de acidentes na construção*. (Tese de Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Decreto-Lei nº 273/2003, de 29 de Outubro, Condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, Pub. L. No. da República ° 251/2003, Série I-A de 2003-10-29 (2003). Obtido de <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/273/2003/p/dre/pt/html>
- Ding, L. Y., Zhong, B. T., Wu, S., & Luo, H. B. (2016). Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science*, 87, 202–213. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>
- Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 46, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>
- Dispenza, K. (2010). The Daily Life of Building Information Modeling (BIM) - Buildipedia. Obtido 10 de Janeiro de 2017, de <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>
- Eastman, C. et al. (2011). *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd Edi). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Enshassi, A., Ayyash, A., & Choudhry, R. M. (2016). BIM for construction safety improvement in Gaza strip: awareness, applications and barriers, 16(3), 249–265. <https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1167367>
- EU-OSHA. (2003). Factsheet 36 - Accident prevention in the construction sector. Obtido 14 de Fevereiro de 2017, de <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/factsheets/36/view>
- Guo, H. L. L., Li, V., Li, H., Li, V., Li, H., & Li, V. (2013). VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework. *Automation in Construction*, 34, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- Guo, H., Yu, Y., & Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>
- Hallowell, M. R., & Hansen, D. (2016). Measuring and improving designer hazard recognition skill: Critical competency to enable prevention through design. *Safety Science*, 82, 254–263.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.005>

- Hongling, G., Yantao, Y., Weisheng, Z., & Yan, L. (2016). BIM and Safety Rules Based Automated Identification of Unsafe Design Factors in Construction. *Procedia Engineering*, 164, 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>
- Lei n.º 31/2009, de 3 de Julho, Qualificação profissional dos responsáveis por projectos e pela fiscalização e direcção de obra, Pub. L. No. Diário da República, 1.ª série — N.º 127 — 3 de Julho de 2009 (2009). Obtido de http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1207&tabela=leis
- Lei n.º 102/2009, Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, Pub. L. No. Diário da República, 1.ª série — N.º 176 — 10 de Setembro de 2009 (2009). Obtido de http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1158&tabela=leis
- Lei n.º 7/2009, de 12 de Fevereiro, Código do Trabalho, Pub. L. No. Diário da República nº 30/2009, Série I de 2009-02-12 Consolidado (2009). Obtido de <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada/-/lc/34546475/view?w=2016-08-23>
- Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J., & Bargstädt, H. J. (2013). A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models, 31(6), 661–674. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>
- Neto, H. V. (2012). *Avaliação de desempenho de sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho*. Civeri Publishing.
- Pereira, T. D. (2013). *Diretiva estaleiros: segurança nas obras*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Pinto, R. M. de L. F. (2013). *Avaliação e controlo de riscos na execução de uma ponte com recurso a carros de avanço*. (Tese de Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Minho.
- Qi, J., Issa, R. R. A., Olbina, S., & Hinze, J. (2014). Use of Building Information Modeling in Design to Prevent Construction Worker Falls. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(5), A4014008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000365](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000365)
- Sadhra, S. S., & Rampal, K. G. (1999). *Occupational health: risk assessment and management*. Blackwell Science.
- Soeiro, A. (2005). *Segurança na Construção*. (E. Feup, Ed.). Porto.
- Soeiro, A., & Martins, J. P. P. (2016). APLICAÇÕES RECENTES NO USO DE BIM NA SEGURANÇA NA, (1).
- Sulankivi, K., Kähkönen, K., & Kiviniemi. (2010). 4D-BIM for Construction Safety Planning. Ulma. (sem data). *Construction Book*.
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M. C. M., & Teizer, J. (2015a). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015b). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.-K. K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*, 29, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- Zhou, W., Whyte, J., & Sacks, R. (2012). Construction safety and digital design: A review.

Automation in Construction, 22, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.005>

Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2016). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>

7 ANEXOS

Anexo I – Fichas de segurança

Anexo II – Fichas de segurança de estruturas provisórias

Anexo III – Planeamento de obra

Anexo I – Fichas de segurança

Atividade	Betonagem
Descrição da atividade	Aplicação de betão em obra. Colocação de argamassa de cimento em locais específicos com o objetivo de executar elementos construtivos estruturais ou não estruturais.
Perigos	Aplicação do betão (betonagem); Vibração e espalhamento do betão.
Riscos	Queda em altura; Queda ao mesmo nível; Queda de materiais; Esmagamento; Soterramento; Eletrização; Desmoronamento; Exposição ao ruído; Exposição a vibrações; Exposição a variações térmicas; Contato com o betão fresco; Sobre-esforços ou posturas inadequadas.
Medidas de prevenção	<p>Garantir que os trabalhadores afetos à tarefa têm formação e conhecimento adequado;</p> <p>Manter as instalações eléctricas/quadro eléctricos em perfeito estado de conservação e funcionamento;</p> <p>Garantir que os equipamentos utilizados na betonagem e na vibração do betão estão em boas condições;</p> <p>Na utilização de plataforma de trabalho, para operações com risco de queda em altura deve ser utilizado um sistema antiqueda. De acordo com a situação tem-se à disposição redes e/ou arnês de segurança e/ou guarda-corpos;</p> <p>Assegurar que o operador da bomba de betão tenha visão direta da betonagem;</p> <p>Comandar o débito da bomba, a fim de evitar projecções violentas do betão;</p> <p>Procurar posições estáveis, aquando da orientação da mangueira distribuidora da bomba;</p> <p>Assegurar o estado da estabilidade dos prumos e das cofragens;</p> <p>Garantir a estabilização das armaduras;</p> <p>Deverá estar obrigatoriamente colocado (em permanência) um trabalhador na parte superior da zona de betonagem de forma a coordenar os trabalhos (débito de betão e orientação do caudal de betão);</p> <p>Avaliar se os limites de exposição à vibração e ao ruído são ultrapassados. Caso se verifique que os trabalhadores estão expostos a níveis superiores ao definido na legislação será necessário apostar em medidas como a rotação de trabalhadores nos postos de trabalho e apostar na compra de equipamentos que gerem menos ruído e vibração. Em último recurso será necessário apostar na utilização de EPI's.</p> <p>Equipamentos de proteção individual:</p> <ul style="list-style-type: none">• Capacete de proteção• Luvas de proteção mecânica• Colete refletor• Na zona de betonagem devem utilizar botas impermeáveis e com proteção mecânica (galochas), devendo assegurar que o betão não entra para o interior das mesmas de forma a evitar o contato com a pele;• Fato impermeável;• Arnês quando não estiver prevista a utilização de medida de proteção coletiva para queda em altura.



Fotos



18

¹⁸<https://www.engenhariacivil.com/dicionario/tag/betonagem>
<http://bcalhauuso.blogspot.pt/2010/11/betonagem-duma-parte-do-deck-laje-tecto.html>
<http://www.eda.pt/Profissionais/Paginas/ProcedimentosSeguranca.aspx>

Anexo II – Fichas de segurança de estruturas provisórias

Atividade	Cofragem/descofragem
Descrição da atividade	<p>Os trabalhos de cofragens/descofragem são das atividades que mais expõe os trabalhadores a riscos de queda em altura e esmagamento.</p> <p>Neste tipo de trabalho utilizam-se frequentemente dois tipos de cofragens, a tradicional e a pré-fabricada.</p> <p>A cofragem tradicional é composta por madeira, sendo cortada e preparada na carpintaria do estaleiro. Atualmente a sua utilização está a entrar em desuso.</p> <p>A cofragem pré-fabricada é composta por peças que já vêm preparadas para cofrar os elementos, podendo ser em painéis metálicos, plásticos e madeiras, tendo como vantagem a possibilidade de ser reutilizada. Este tipo de cofragem possibilita a incorporação dos equipamentos de proteção, como guarda-corpos e plataformas de trabalho, servindo estes para proteger os trabalhadores no momento da betonagem.</p> <p>Há que ter em atenção as fichas técnicas destas cofragens, pois a forma de travamento pode variar de acordo com o fornecedor. Como tal, é necessário conferir formação adequada aos trabalhadores.</p>
Perigos	<p>Colocação dos painéis de cofragem;</p> <p>Aplicação de descofrante.</p>
Riscos	<p>Queda em altura;</p> <p>Queda ao mesmo nível;</p> <p>Esmagamento;</p> <p>Queda de objetos;</p> <p>Choque contra objetos;</p> <p>Entalamentos entre objetos;</p> <p>Sobre-esforços ou posturas inadequadas;</p> <p>Variações térmicas;</p> <p>Contato com produtos químicos.</p>
Medidas de prevenção	<p>Garantir que os trabalhadores afetos à tarefa têm formação e conhecimento adequado;</p> <p>Criar acessos verticais (escadas de mão ou escadas em torre) compatíveis com a altura da estrutura a construir;</p> <p>Na utilização de plataforma de trabalho (por exemplo: andaime), para operações com risco de queda em altura deve ser utilizado um sistema antiqueda. De acordo com a situação tem-se à disposição redes e/ou arnês de segurança e/ou guarda-corpos;</p> <p>Proibir o trabalho junto aos bordos das placas, antes da instalação das redes de proteção ou dos guarda-corpos com rodapé;</p> <p>Escorar devidamente os taipais para garantir a sua estabilidade;</p> <p>Promover a arrumação e limpeza do estaleiro;</p> <p>As suspensões das cofragens não deverão ser feitas com apenas um ponto de apoio, devendo seguir as indicações do fabricante;</p> <p>As cofragens deverão ser sempre conduzidas através de espigas, que no caso de trabalhos na proximidade de linhas eléctricas de Alta Tensão devem conter um elemento isolante;</p> <p>Antes de iniciar a movimentação dos painéis, assegurar que as suspensões estão correctamente efectuadas;</p> <p>Uma vez colocados os painéis nos locais de aplicação, estes deverão ser devidamente firmados antes do equipamento de elevação os libertar;</p> <p>A utilização da grua e consequente movimentação dos taipais não deve ser feita se os ventos forem fortes e/ou se existir pouca visibilidade;</p> <p>Procurar utilizar descofrantes o mais inócuos possível, tendo sempre em atenção as indicações na ficha de segurança do produto ou no rótulo da embalagem. Ter em conta que o produto nunca deve ser aplicado contra o vento;</p> <p>No momento da descofragem, nunca arrancar os painéis com a grua;</p> <p>A desmontagem do ecoramento deve ser faseada.</p> <p>Equipamentos de proteção individual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacete de proteção;

- Calçado com proteção mecânica;
- Luvas de proteção mecânica;
- Luvas e óculos de proteção química no momento de aplicação de óleo de descofragem;
- Colete refletor;
- Arnês quando não estiver prevista a utilização de medida de proteção coletiva para queda em altura.



Fotos



19

¹⁹ <http://www.eda.pt/Profissionais/Paginas/ProcedimentosSeguranca.aspx>
 (Ulma, sem data)
 (Soeiro, 2005)
<http://www.engenium.net/503/colecao-de-fichas-de-seguranca-e-saude-fss.html>

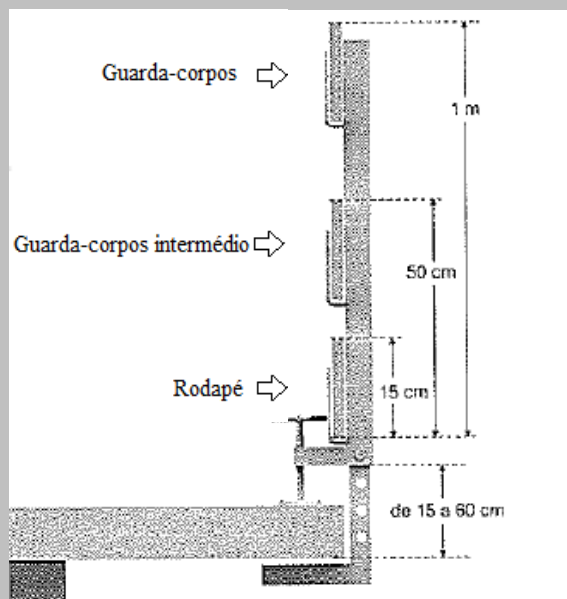
Atividade**Montagem/desmontagem de guarda-corpos**

Os guarda-corpos são proteções coletivas que têm o objetivo de impedir a queda em altura de pessoas e de materiais. Estes equipamentos são normalmente utilizados em andaimes, escadas, valas, coberturas, bordos de lajes e plataformas de trabalho, entre outros.

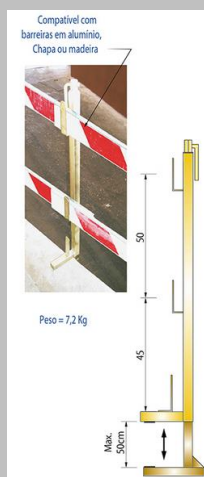
São constituídos por diferentes componentes montados no local que garantem a estabilidade, resistência e a proteção necessária a quedas em altura.

Os guarda-corpos são proteções compostas por três elementos, guarda-corpos, guarda-corpos intermédio e rodapé, ou por sistemas integrais compostos por grelhas de proteção, pranchas sólidas ou por sistemas de proteção lateral em três partes, com redes de segurança, guarda-corpos ou similar.

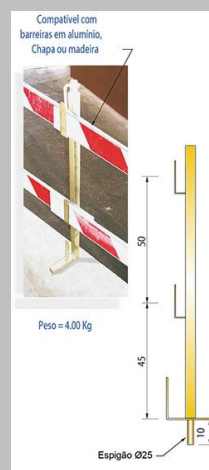
Na imagem abaixo apresentam-se as alturas a que devem estar o guarda-corpos, o guarda-corpos intermédio e o rodapé.

**Descrição da atividade**

Relativamente ao sistema de amarração de um guarda-corpo, este pode ser feito sobre a forma de aperto no bordo ou por sistema de encaixe em espigão, tal como vem representado na Figura abaixo.



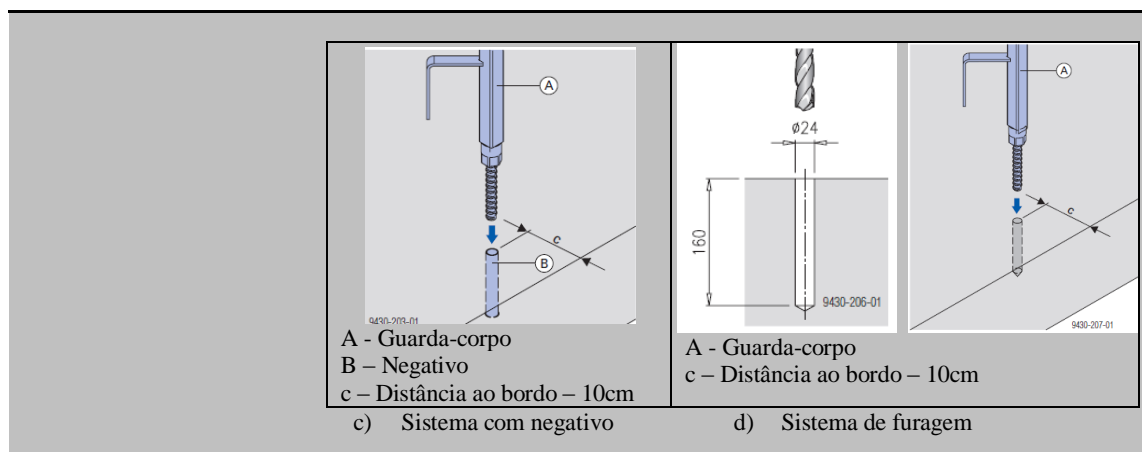
a) Guarda-corpo de aperto



b) Guarda-corpo de espigão

De acordo com o tipo de amarração, o nível de cuidado na montagem implica exigências distintas.

No caso dos guarda-corpos em espigão a fixação pode ser feita de duas formas, ou se opta pela colocação de um negativo no elemento estrutural, inserindo-o no betão fresco ou perfura-se o elemento estrutural após o betão estar seco.



Perigos

Montagem/desmontagem guarda-corpos

Riscos

Queda em altura;

Queda de materiais/ferramentas;

Pancadas;

Sobre-esforços ou posturas inadequadas;

Exposição a variações térmicas.

Garantir que não circulem pessoas no nível inferior da mesma prumada na altura da colocação dos guarda-corpos. Para tal delimitar um perímetro de segurança com rede laranja;

O trabalhador que procede á colocação de guarda-corpos deve utilizar arnês preso ao JRG (dispositivo de travamento automático em caso de queda), ligado a uma linha de vida.

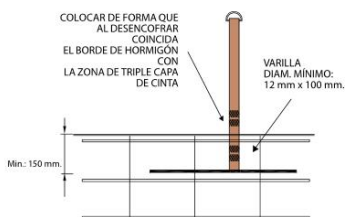
A linha de vida deve estar ancorada a elementos estruturais, devendo ser sinalizado em planta os pontos de ancoragem. Os pontos de ancoragem devem ser executados de acordo com as fichas técnicas do fornecedor da linha de vida, devendo recorrer-se a uma equipa especializada para a montagem destes elementos.

Existem várias formas de fixar os pontos de ancoragem, estes podem ser feitos com negativos, cintas embebidas ou por perfuração do elemento estrutural e posterior aparafusagem.

Medidas de prevenção

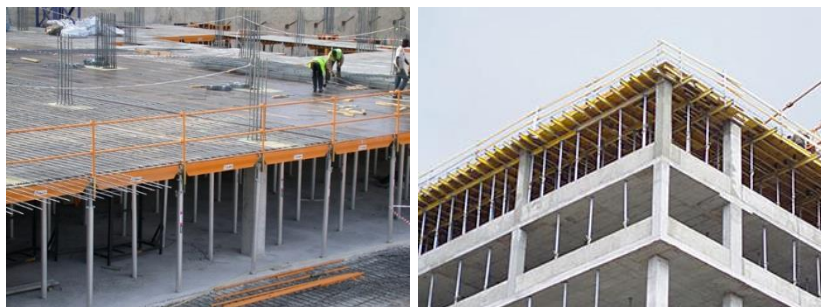


e) Sistemas de ancoragem com negativos embebidos e por perfuração do elemento estrutural



f) Cinta embebida na estrutura (colocada antes da betonagem)

Caso se opte pela utilização de cofragens com guarda-corpos incorporados, não será necessária a utilização da linha de vida, pois antes da retirada do sistema de cofragem procede-se à colocação dos guarda-corpos. Assegurando-se a segurança do trabalhador no momento da colocação dos guarda-corpos através do sistema de cofragem que incorpora a proteção coletiva.



g) Sistema de cofragem com guarda-corpos integrados

Nas zonas de escavação também é necessária a colocação de guarda-corpos. Havendo espaço no local da obra estes devem ser colocados a cerca de 1m do bordo. Para a colocação dos guarda-corpos o trabalhador deve utilizar arnês preso à linha de vida. Caso não existam pontos de amarração para a linha de vida será necessário colocar prumos de amarração para a linha de vida a uma distância de 2 a 3m da bordadura.



h) Ancoragem utilizada em solos – colocada a 1,5m de profundidade

Equipamentos de proteção individual:

- Capacete de proteção;
- Calçado de segurança com proteção mecânica;
- Colete refletor;
- Luvas de proteção mecânica;
- Arnês com cinto e sistema anti-queda (JRC).

Sistema guarda-corpos:

Fotos





20

²⁰ [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Guia_trabalho_em_Altura_pt.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Guia_trabalho_em_Altura_pt.pdf)
(Ulma, sem data)
(Bargão, 2013)

https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999430002_2003_06_online.pdf

<https://www.doka.com/pt/system-groups/doka-safety-systems/guardrail-systems/handrail-posts-and-clamps/index>

<http://www.jorgelozano.pt/wp-content/uploads/2015/10/Cat%C3%A1logo-2014-15-BQ.pdf>

<https://www.elosequipamentos.com.br/guarda-corpo-para-obra.php>

<https://www.totalaccess.co.uk/services/fall-protection/fall-protection-systems>

<http://doisdez.com.br/project/linha-de-vida-para-cobertura/>

Anexo III – Planeamento de obra

Task ID	Type	Title	Duration	Task ID Predecessors	Expected Start	Expected End
1	Demolish	Limpeza do terreno	4		28-06-2017 08:00	03-07-2017 17:00
2	Temporary	Máquinas de escavação			28-07-2017 08:00	11-07-2017 17:00
3	Temporary	Vedação de estaleiro e caminhos de circulação	1	1	04-07-2017 08:00	21-06-2018 17:00
4	Demolish	Escavação	5	3	05-07-2017 08:00	11-07-2017 17:00
5	Temporary	Colocação de guarda-corpos na zona de escavação	1	4	12-07-2017 08:00	21-02-2018 17:00
6	Temporary	Grua		4	12-07-2017 08:00	06-04-2018 17:00
7	Construct	Fundações do Bunker	12	5	12-07-2017 08:00	27-07-2017 17:00
8	Construct	Fundações do piso -1	7	7	28-07-2017 08:00	04-08-2017 17:00
9	Construct	Fundações zona técnica	5	8	08-08-2017 08:00	14-08-2017 17:00
10	Construct	Muros de suporte do Bunker	24	9	15-08-2017 08:00	15-09-2017 17:00
11	Construct	Muros de suporte do piso -1	12	10	18-09-2017 08:00	03-10-2017 17:00
12	Construct	Muros de suporte da zona técnica	10	11	04-10-2017 08:00	17-10-2017 17:00
13	Construct	Pilares do piso -1	7	12	18-10-2017 08:00	27-10-2017 17:00
14	Construct	Laje térrea do piso -1 e da zona técnica	10	13	30-10-2017 08:00	10-11-2017 17:00
15	Construct	Laje de tecto do Bunker	25	14	13-11-2017 08:00	15-12-2017 17:00
16	Construct	Laje de tecto piso -1 e zona técnica	20	15	04-12-2017 08:00	04-01-2018 17:00
17	Construct	Escadas do piso -1 e da zona técnica	4	16	05-01-2018 08:00	10-01-2018 17:00
18	Temporary	Colocação de guarda-corpos no piso 0	1	16	05-01-2018 08:00	21-02-2018 17:00
19	Temporary	Colocação de tampos no piso 0	1	16	05-01-2018 08:00	20-05-2018 17:00
20	Construct	Fundações do piso 0	6	18,19	08-01-2018 08:00	15-01-2018 17:00
21	Construct	Pilares do piso 0 e parede estrutural da CX de elevador	24	20	16-01-2018 08:00	16-02-2018 17:00
22	Construct	Impermeabilizações de muros de suporte	2	21	19-02-2018 08:00	20-02-2018 17:00
23	Construct	Lajes térreas do piso 0	6	22	21-02-2018 08:00	28-02-2018 17:00
24	Construct	Vigas e lajes do tecto do piso 0	27	23	01-03-2018 08:00	06-04-2018 17:00
25	Temporary	Colocação de proteções de queda em altura na cobertura	1	24	09-04-2018 08:00	11-06-2018 17:00
26	Construct	Paredes interiores piso -1	10	25	09-04-2018 08:00	20-04-2018 17:00
27	Construct	Paredes interiores piso 0	18	26	23-04-2018 08:00	16-05-2018 17:00
28	Temporary	Montagem de andaimes	1	27	17-05-2018 08:00	11-06-2018 17:00
29	Construct	Paredes exteriores	16	28	18-05-2018 08:00	08-06-2018 17:00
30	Construct	Portas piso -1	3	29	11-06-2018 08:00	13-06-2018 17:00
31	Construct	Portas e envidraçados piso 0	6	30	14-06-2018 08:00	21-06-2018 17:00
32	Construct	Arranjos exteriores	11	31	22-06-2018 08:00	06-07-2018 17:00